

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICA Y MORFODINÁMICA PRELIMINAR E
INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ, EN LA ZONA RESPECTIVA A LAS PLANCHAS 153-I-B, 153-I-D,
153-II-A y 153-II-C, A ESCALA 1:25000, EN EL MARCO DEL CONVENIO
INTERADMINISTRATIVO ESPECÍFICO No. 1610-2015, UPTC-GOVERNACIÓN
DE BOYACÁ-CAR

OSCAR MAURICIO FONSECA ARAGÓN

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICA Y MORFODINÁMICA PRELIMINAR E
INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ, EN LA ZONA RESPECTIVA A LAS PLANCHAS 153-I-B, 153-I-D,
153-II-A y 153-II-C, A ESCALA 1:25000, EN EL MARCO DEL CONVENIO
INTERADMINISTRATIVO ESPECÍFICO No. 1610-2015, UPTC-GOBERNACIÓN
DE BOYACÁ-CAR

OSCAR MAURICIO FONSECA ARAGÓN
Código estudiantil No. 201020155

Trabajo de Grado desarrollado en la Modalidad de Trabajo de Investigación y
presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Geólogo

Director
Magíster HECTOR ANTONIO FONSECA PERALTA
Docente titular UPTC

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director Escuela Ingeniería Geológica

Director del proyecto

Firma del presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Sogamoso, junio de 2016

A Dios, aquel ser incondicional que día y noche me brindó su mano, aligerando mis cargas, calmando mi fatiga y ofreciéndome nuevas fuerzas para seguir adelante, a través de aquella gran bendición y apoyo que a diario llamo Familia;

A mis padres Luz Alba Aragón Barrera y Hernán Fonseca Corredor, y a mi hermano David Esteban Fonseca Aragón, tres seres maravillosos, que hicieron posible este sueño, de principio a fin, con su gran amor filial, su apoyo incondicional, acompañamiento continuo, e infinitas palabras de aliento, dándole un valor único e inigualable a cada día. Este sueño cumplido les pertenece, debido a que fueron mi apoyo y motivación para seguir adelante cada día, siendo aquella parte fundamental en mi vida, por la cual todo tiene un valor único y especial. Gracias por ser mi ejemplo a seguir, amada familia;

A mi novia, Adriana Lucía Acevedo Coba, por su apoyo incondicional y valioso acompañamiento durante este proceso de aprendizaje, y

Al director del proyecto, Ingeniero Héctor Antonio Fonseca Peralta, por su confianza depositada en mí, ofreciéndome la oportunidad de desarrollar este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

El autor de este trabajo de investigación expresa sus sinceros sentimientos de gratitud a las siguientes personas y entidades, cuyo concurso fue fundamental para alcanzar los objetivos propuestos:

- a) De manera especial, al Ingeniero Geólogo, Especialista en Gestión Ambiental y Maestrante en Ciencias de la Tierra Ernesto Gutiérrez Gutiérrez, revisor del proyecto, por su apoyo, enseñanza y acompañamiento continuo a través de este proceso, en el que tuve ocasión de conocerlo, más que como un profesional de invaluables conocimientos, como un gran ser humano, excelente persona y amigo de incalculables valores;
- b) A los profesionales Jorge Alirio Corredor Cuervo, Adrián Yesid Gutiérrez Vargas, Yulieth Natalia Velandia Rincón, Jenny Andrea Ceballos Fandiño, Diego Armando Penagos López y Omar Guillermo Pérez Molano, ingenieros del convenio, por la guía que me ofrecieron a través de este proceso como grandes y dignos profesionales de la geología;
- c) A mis Docentes de la Escuela de Ingeniería Geológica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, que compartieron conmigo su sabiduría y conocimiento, formando a través del tiempo lo que he llegado a ser, y
- d) A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, institución en la que a diario me fueron brindados no solamente los conocimientos y competencias relacionadas con la profesión, sino una formación ética, personal y social que fortalece mi integralidad como profesional y como persona.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. GENERALIDADES	24
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.2 JUSTIFICACIÓN	24
1.3 OBJETIVOS	24
1.3.1 Objetivo general	24
1.3.2 Objetivos específicos	24
1.4 METODOLOGÍA	25
1.4.1 Etapa 1: recopilación de la información	25
1.4.2 Etapa 2: desarrollo previo a la salida de campo	25
1.4.3 Etapa 3: salida de campo	26
1.4.4 Etapa 4: procesamiento de la información obtenida	26
1.4.5 Etapa 5: realización del mapa geológico preliminar	27
1.4.6 Etapa 6: insumo variables morfométricas	27
1.4.7 Etapa 7: realización del mapa geomorfológico preliminar	28
1.4.8 Etapa 8: atributo morfodinámico	28
1.4.9 Etapa 9: entrega del producto final	29
1.5 LOCALIZACIÓN	29
1.5.1 Vías de acceso	30
1.5.2 Hidrografía	30
1.5.3 Clima	32
1.6 ESTADO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA	34
1.7 TRABAJO DE CAMPO	34
2. INVENTARIO DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA	37
2.1 DILIGENCIAMIENTO DEL FORMATO PMA:GCA	37
2.1.1 Encabezado	38
2.1.2 Localización geográfica y documental del evento	38
2.1.3 Actividad del movimiento	38
2.1.4 Litología y estratigrafía.	40
2.1.5 Clasificación del movimiento	40
2.1.6 Morfometría	41

2.1.7 Causas del movimiento	41
2.1.8 Tipo de erosión	41
2.1.9 Cobertura y uso del suelo	41
2.1.10 Documentos de referencia	42
2.1.11 Efectos secundarios	42
2.1.12 Importancia del evento	42
2.1.13 Daños	42
2.1.14 Notas y apreciación del riesgo	42
2.1.15 Esquema del movimiento	42
2.1.16 Registro fotográfico	43
 3. GEOLOGÍA	 47
3.1 MARCO TECTÓNICO	49
3.1.1 Falla de Chiscas	49
3.1.2 Falla de Soapaga	49
3.1.3 Falla de Onzaga o Boyacá	49
3.1.4 Falla de Sácama-Gibraltar	49
 3.2 ESTRATIGRAFÍA	 50
3.2.1 Unidades del Cretáceo	50
3.2.1.1 Formación Tibú-Mercedes (kitm)	50
3.2.1.2 Formación Une-Aguardiente (kia)	51
3.2.1.3 Formación Chipaque (Ksc)	52
3.2.1.4 Formación La Luna (ksl)	53
3.2.1.5 Formación Los Pinos (Kslp)	54
3.2.2 Unidades del Terciario Inferior	55
3.2.2.1 Formación Guaduas (tkg)	55
3.2.2.2 Formación Areniscas de Socha (tpars)	56
3.2.2.3 Arcillas de Socha (Tpas)	57
3.2.2.4 Formación Picacho (Tep)	58
3.2.2.5 Formación Concentración (Teco)	58
3.2.3 Unidades cuaternarias sin consolidar	59
3.2.4 Depósitos cuaternarios	59
 4. VARIABLES MORFOMÉTRICAS Y MORFODINÁMICA	 63
4.1 MORFOMETRÍA	63
4.1.1 Variable pendientes	63
4.1.2 Variables de rugosidad	65
4.1.3 Variable acuenca	67
4.1.3.1 Proceso metodológico para la obtención del atributo acuenca	68
4.1.3.2 Dirección de flujo (<i>Flow Direction</i>)	69
4.1.3.3 Flujos acumulados (<i>Flow Accumulation</i>)	70

4.2 VARIABLE MORFODINÁMICA	72
4.2.1 Generación del atributo morfodinámico	72
4.2.1.1 Atributo de relieve relativo e inclinación de ladera	73
4.2.1.2 Obteniendo las unidades de suelo	75
4.2.1.3 Obteniendo el mapa de procesos	78
5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	81
5.1 AMBIENTE GLACIA-PERIGLACIAL	85
5.1.1 Aguja glacial (Horn) (Ga)	88
5.1.2 Circo glacial y de nivación (Gc)	88
5.1.3 Conos glaciofluviales (Gcgf)	89
5.1.4 Ladera contrapendiente de cuesta glaciada (Gclc)	90
5.1.5 Ladera estructural de cuesta glaciada (Gcle)	91
5.1.6 Flancos de valle glacial (Gflv)	91
5.1.7 Laguna Glacial (Glg)	93
5.1.8 Morrena de fondo (Gmf)	93
5.1.9 Morrena lateral (Gml)	94
5.1.10 Morrena terminal o frontal (Gmt)	94
5.1.11 Plano y cono de sobrelavado glacial (Gpcs)	94
5.1.12 Plano glaciolacustrino (Gpgl)	96
5.1.13 Ladera de contrapendiente sierra anticlinal glaciada (Gsalc)	96
5.1.14 Ladera estructural sierra anticlinal glaciada (Gsale)	96
5.1.15 Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal gl. (Gshlc)	97
5.1.16 Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle)	97
5.1.17 Sierra sinclinal glaciada (Gssg)	98
5.1.18 Ladera contrapendiente de sierra sinclinal glaciada (Gsslc)	99
5.1.19 Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada (Gssle)	99
5.2 AMBIENTE DENUDACIONAL	100
5.2.1 Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)	102
5.2.2 Cono de talus (Dct)	103
5.2.3 Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi)	103
5.2.4 Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (Ddrt)	104
5.2.5 Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional (Ddtr)	104
5.2.6 Escarpe de erosión mayor (Deem)	106
5.2.7 Cono o lóbulo de flujo indiferenciado (Dft)	106
5.2.8 Loma denudada (Dld)	107
5.2.9 Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl)	107
5.2.10 Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm)	109
5.2.11 Lomo denudado moderado de longitud larga (Dldeml)	109
5.2.12 Ladera erosiva – Del	110
5.2.13 Ladera ondulada – Dlo	110
5.2.14 Loma residual (Dlor)	111
5.2.15 Lomeríos poco disectados (Dlpd)	112

5.2.16 Lomo residual (Dlres)	113
5.2.17 Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)	113
5.3 AMBIENTE ESTRUCTURAL	114
5.3.1 Barra homoclinal (Sbh)	116
5.3.2 Cerro estructural (Sce)	117
5.3.3 Espinazo (Se)	118
5.3.4 Espolón bajo de longitud media (Sesbm)	118
5.3.5 Ladera contrapendiente (Slcp)	120
5.3.6 Ladera estructural (Sle)	120
5.3.7 Lomo de falla (Slf)	121
5.3.8 Escarpe de línea de falla (Slfe)	121
5.3.9 Lomo de falla con faceta triangular (Slft)	122
5.3.10 Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc)	122
5.3.11 Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)	123
5.3.12 Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle)	123
5.3.13 Sierras y lomos de presión (Sslp)	125
5.3.14 Sierra sinclinal (Sss)	125
5.3.15 Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc)	126
5.3.16 Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle)	126
5.4 AMBIENTE FLUVIAL Y LAGUNAR	127
5.4.1 Cauce aluvial (Fca)	128
5.4.2 Planicie aluvial confinada (Fpac)	129
5.4.3 Plano o llanura de inundación (Fpi)	129
5.4.4 Escarpe de terraza de acumulación (Ftae)	130
5.4.5 Terraza de acumulación antigua (Ftan)	131
5.5 AMBIENTE ANTROPOGÉNICO	133
CONCLUSIONES	136
RECOMENDACIONES	137
BIBLIOGRAFÍA	138

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Proceso metodológico secuencial	29
Figura 2. Localización de la zona de estudio	30
Figura 3. Vías de acceso	31
Figura 4. Mapa hidrográfico	32
Figura 5. Límites de clima	33
Figura 6. Mapa de estaciones, del área de estudio	36
Figura 7. Formato PMA:GCA, sección anterior del formato para la estación 14BC	45
Figura 8. Formato PMA:GCA, sección posterior del formato para la estación 14BC	46
Figura 9. Mapa geológico preliminar de la zona de estudio	47
Figura 10. Bloque diagrama geología preliminar	48
Figura 11. Reclasificación del mapa de pendientes del área de estudio	64
Figura 12. Mapa de susceptibilidad de la pendiente	64
Figura 13. Reclasificación del mapa de rugosidad del área de estudio	66
Figura 14. Perfil de rugosidad suroeste del caserío Cusagui	66
Figura 15. Comparativa entre valores de rugosidad y geoformas presentes	67
Figura 16. Mapa de susceptibilidad según valores de rugosidad	68
Figura 17. Obtención de la variable acuenca	69
Figura 18. Cálculo de dirección de flujo (<i>Flow Direction</i>)	69
Figura 19. modelo de flujos acumulados (<i>Flow Accumulation</i>)	70
Figura 20. Obtención del atributo acuenca.	71

Figura 21. Mapa de susceptibilidad para la variable acuenca	72
Figura 22. Obtención del atributo morfodinámico	73
Figura 23. Procedimiento RelIncli	75
Figura 24. Mapa de unidades de suelo	78
Figura 25. Mapa de procesos	79
Figura 26. Mapa morfodinámico	79
Figura 27. Esquema de la jerarquización geomorfológica	82
Figura 28. Mapa geomorfológico preliminar	83
Figura 29. Bloque diagrama de geomorfología preliminar	84
Figura 30. Ambientes morfogenéticos	85
Figura 31. Distribución geográfica del ambiente glacial en el área de estudio	86
Figura 32. Representación área de las unidades de ambiente glacial	87
Figura 33. Vista de perfil de Aguja Glacial (Horn) (ga)	88
Figura 34. Vista en planta de conos glaciofluviales (Gcgf)	90
Figura 35. Distribución geográfica del ambiente denudacional en el área de estudio	101
Figura 36. Representación área de las unidades de ambiente denudacional	102
Figura 37. Distribución geográfica del ambiente estructural en el área de estudio	115
Figura 38. Representación área de las unidades de ambiente estructural	116
Figura 39. Distribución geográfica del ambiente fluvial en el área de estudio	127
Figura 40. Representación área de las unidades de ambiente fluvial	128
Figura 41. Distribución geográfica del ambiente antropogénico, área estudio	133
Figura 42. Gráfico de canteras representativas del sector	134

LISTA DE FOTOS

	pág.
Foto 1. Formación Tibú – Mercedes	50
Foto 2. Formación Une-Aguardiente	51
Foto 3. Formación Chipaque	52
Foto 4. Formación La Luna	53
Foto 5. Formación Los Pinos.	54
Foto 6. Formación Guaduas	55
Foto 7. Formación Areniscas de Socha	56
Foto 8. Formación Arcillas de Socha	57
Foto 9. Formación Concentración	59
Foto 10. Vista panorámica de circo glacial y de nivación (Gc)	89
Foto 11. Vista panorámica de ladera contrapendiente de cuesta gl. (Gclc)	91
Foto 12. Vista panorámica de ladera estructural de cuesta glaciada (Gcle)	92
Foto 13. Vista panorámica flancos de valle glacial (Gflv)	92
Foto 14. Vista panorámica Laguna glaciár (Glg)	93
Foto 15. Vista panorámica morrena terminal (Gmt)	95
Foto 16. Vista panorámica de plano y cono sobrelavado glacial (Gpcs)	95
Foto 17. Ladera en contrapendiente de Sierra H.G.(Gshlc)	97
Foto 18. Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle)	98
Foto 19. Ladera contrapendiente de sierra sinclinal glaciada (Gsslc)	99
Foto 20. Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada (Gssle)	100
Foto 21. Panorámica de cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)	103

Foto 22. Panorámica de cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi)	104
Foto 23. Panorámica de cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (Ddrt)	105
Foto 24. Panorámica de cono o lóbulo de deslizamiento traslacional (Ddtr)	105
Foto 25. Panorámica de escarpe de erosión mayor (Deem)	106
Foto 26. Panorámica de cono o lóbulo de flujo indiferenciado (Dft)	107
Foto 27. Panorámica de loma denudada (Dld)	108
Foto 28. Panorámica de lomo denudado de longitud larga (Dldebl)	108
Foto 29. Panorámica de lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm)	109
Foto 30. Lomo denudado moderado de longitud larga (Dldeml)	110
Foto 31. Panorámica de ladera erosiva (Dle)	111
Foto 32. Panorámica de ladera ondulada (Dlo)	111
Foto 33. Panorámica de loma residual (Dlor)	112
Foto 34. Panorámica de lomeríos poco disectados (Dlpd)	113
Foto 35. Panorámica de lomo residual (Dlres)	115
Foto 36. Panorámica de montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)	115
Foto 37. Panorámica de barra homoclinal (Sbh)	117
Foto 38. Panorámica de cerro estructural (Sce)	118
Foto 39. Panorámica de espinazo (Se)	119
Foto 40. Panorámica de espolón bajo de longitud media (Sesbm)	119
Foto 41. Panorámica de ladera contrapendiente (Slcp)	120
Foto 42. Panorámica de ladera estructural (Sle)	121
Foto 43. Panorámica de lomo de falla (Slf)	122
Foto 44. Panorámica de lomo de falla con faceta triangular (Slft)	123

Foto 45. Ladera contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)	124
Foto 46. Panorámica de ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle)	124
Foto 47. Sierras y lomos de presión (Sslp), sector Providencia	125
Foto 48. Panorámica de ladera contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc)	126
Foto 49. Panorámica de ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle)	126
Foto 50. Panorámica de cauce aluvial (Fca)	129
Foto 51. Panorámica de plano o llanura de inundación (Fpi)	130
Foto 52. Panorámica de escarpe de terraza de acumulación (Ftae)	131
Foto 53. Panorámica de terraza de acumulación antigua (Ftan)	132
Foto 54. Panorámica de terraza de acumulación sub-reciente (Ftas)	132
Foto 55. Panorámica de cantera (Ac)	135

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Límites de clima	34
Tabla 2. Localización de movimientos en masa en la zona de estudio	43
Tabla 3. Correlación de unidades estratigráficas, INGEOMINAS	61
Tabla 4. Tabla de susceptibilidad de la pendiente. INGEOMINAS 2011	63
Tabla 5. Valores de calificación susceptibilidad de la rugosidad	65
Tabla 6. Clasificación de la susceptibilidad del atributo acuenca	71
Tabla 7. Clasificación de relieve relativo	74
Tabla 8. Calificación de la Inclinação de Ladera	74
Tabla 9. Calificación de los depósitos	76
Tabla 10. Calificación a partir del mapa morfodinámico	80
Tabla 11. Ambientes morfogenéticos por áreas y porcentaje en la zona de estudio	85
Tabla 12. Unidades geomorfológicas por área y porcentaje, ambiente glacial	87
Tabla 13. Unidades geomorfológicas, por área y porcentaje, ambiente denudacional	101
Tabla 14. Unidades geomorfológicas por área y porcentaje, ambiente estructural.	116
Tabla 15. Unidades geomorfológicas por área y porcentaje, ambiente fluvial	128
Tabla 16. Unidades geomorfológicas por canteras representativas, ambiente antropogénico	134

TABLA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Tabla de estaciones realizadas en campo, con sus respectivas coordenadas.	140
ANEXO B. Formatos PMA:GCA desarrollados en la zona de zona de estudio.	145
ANEXO C. Columna estratigráfica de la plancha 153 – Chita.	185
ANEXO D. Mapa Geológico preliminar planchas, 153-I-B, 153-II-A.	187
ANEXO E. Mapa Geológico preliminar planchas, 153-I-D, 153-II-C.	189
ANEXO F. Mapa Geomorfológico preliminar, planchas 153-I-B, 153-II-A.	191
ANEXO G. Mapa Geomorfológico preliminar, planchas 153-I-D, 153-II-C.	193

INTRODUCCIÓN

La geología es una ciencia que ofrece una diversa cantidad de información para comprender la tectónica de placas, la historia de la vida y su evolución a través de la paleontología, climas predecesores a la época actual, descubrimiento de yacimientos minerales, hidrocarburos y gas natural, siendo todos de importancia económica.

Del mismo modo en que la geología se relaciona con la paleontología para ofrecer diversa cantidad de información, también lo hace con la geomorfología, ciencia cuyo objeto principal es el estudio de las formas correspondientes a la superficie terrestre, materiales naturales que la componen, disposición estructural y procesos generativos y su actual comportamiento, ubicándose como una herramienta fundamental para la evaluación y proyección del comportamiento respectivo a distintos terrenos. Esta área se enfoca en el análisis de amenazas naturales, planificación territorial y estudio de ecosistemas, entre otros.

Con base en ello, el presente trabajo se fundamenta en dichas ciencias para desarrollarse dentro del marco del convenio interadministrativo específico No. 1610-2015 UPTC-Gobernación de Boyacá-CAR, cuyo objeto es la investigación aplicada a la modelación del territorio a partir del análisis geomorfológico del departamento de Boyacá, estudio que hace referencia a la caracterización geológica de unidades estratigráficas, ambientes y unidades geomorfológicas del área definida en las coordenadas correspondientes a las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, en escala 1:25.000.

La actual caracterización se desarrolla con base en los parámetros propuestos por el Servicio Geológico Colombiano, en la propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos, en escala 1:100.000.

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El territorio de Boyacá tiene condiciones geológicas y climáticas de orden propio, que generan cambios en la cobertura vegetal y el suelo, dando paso a posibles amenazas naturales, entre las cuales se presentan los movimientos de remoción en masa. Debido a esto, es primordial ampliar el conocimiento del territorio de Boyacá, para establecer el cambio morfológico del paisaje y la respectiva identificación de los procesos dinámicos que lo alteran.

Por consiguiente, surge la iniciativa de realizar una investigación para el levantamiento de información en campo y la elaboración de cartografía preliminar correspondiente a geología y geomorfología, en relación con sus aspectos morfogenéticos y morfodinámicos, en el área correspondiente al territorio de Boyacá.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Con este estudio se genera y caracteriza la geología, geomorfología, y movimientos en masa, en escala 1:25.000, en el área correspondiente a las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, pertenecientes al departamento de Boyacá, siendo realizado mediante la modelación y proceso de la información existente, recopilada, y la obtenida en el trabajo de campo.

Para tal fin, se obtiene una serie de mapas a escala 1:25.000, que comprende el mapa geológico preliminar y el mapa geomorfológico preliminar, priorizando los aspectos morfogenéticos y morfodinámicos, con el apoyo de las actuales tecnologías de Sistemas de Información Geográfica.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Realizar la cartografía morfogenética y morfodinámica, y el inventario de movimientos en masa del departamento de Boyacá, en la zona correspondiente a las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, a escala 1:25.000, en las que se localizan los municipios de San Mateo, Guacamayas, Panqueba, El Cocuy, Güican, La Uvita y Chita.

1.3.2 Objetivos específicos. Se planean los siguientes, como los más relevantes:

- a) Recopilar y analizar la información existente sobre las zonas respectivas de trabajo;
- b) Realizar la verificación y actualización preliminar de la información geológica recopilada en campo;

- c) Levantar la cartografía morfogenética y morfodinámica, y el inventario de remoción en masa en el área de estudio;
- d) Actualizar la cartografía geológica preliminar, a escala 1:25.000, de las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, y
- e) Elaborar la cartografía geomorfológica preliminar a escala 1:25.000 de las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Etapa 1: recopilación de la información. Se recopiló la información correspondiente al área de estudio, comprendida en las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, en la que se incluían estudios previos; mapas topográficos a escala 1:25.000, del IGAC; mapas geológicos a escala 1:100.000, entre los que se presentan los correspondientes a las planchas 172 (Paz de Rio), 137 (El Cocuy), 152 (Soatá) y 153 (Chita); memorias geológicas correspondientes a las planchas anteriormente mencionadas e imagen satelital de la zona de estudio; modelo de elevación (DEM), de resolución espacial de 30 m; modelado 3D de la zona, y modelo de sombras de resolución espacial de 30 m.

1.4.2 Etapa 2: desarrollo previo a la salida de campo. Se adelantó un proceso de trabajo en oficina, previo a la salida de campo, gracias al cual se generó una interpretación de las zonas inestables, a partir de información obtenida de los Sistemas de Información Geográfica, para lo cual se implementaron cinco aplicaciones de software: SAS Planet, Arcgis V.10.2.2, Global Mapper V.17, OkMap y Google Earth Pro, de la siguiente manera:

- a) Se georreferenció la información correspondiente a las planchas cartográficas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, en escala 1:25.000, y el mapa geológico, a escala 1:100.000 (153, Chita), con respecto al origen de coordenadas Magna_Colombia_Este, en el software ArcGis V.10.2.2.;
- b) Se descargó una imagen satelital en el software SAS Planet, entregando un resultado gráfico de alta definición, con respecto a la zona de estudio. Se importó este producto en el programa ArcGis V.10.2.2 y, en conjunto con las imágenes 3D de alta definición proporcionadas por Google Earth Pro, se delimitaron las vías de primero, segundo y tercer orden, los puntos de control y los posibles movimientos en masa;
- c) Se desarrolló la conversión de los respectivos formatos de imagen, para ser visualizados en el dispositivo *android*, por medio del programa GlobalMapper

- V.17, transformando el formato .tiff a .ecw (*Enhanced Compression Wavelet*), que permite conservar una alta definición en cada imagen, mediante el uso de técnicas de ondículas, su sistema de coordenadas, y permite una compresión de la misma que reducen el uso de espacio y memoria ram del dispositivo móvil;
- d) Se convirtió cada imagen de formato .ecw a formato OruxMaps, mediante el software Okmap, siendo este el único programa que presentó esta opción de conversión, conservando la calidad de la imagen;
 - e) Se procedió a instalar la aplicación OruxMaps.apk en el dispositivo *android*, interfaz mediante la cual se observan las planchas topográficas, el mapa geológico, la imagen satelital de la zona de trabajo, vías y puntos de control, así como posibles movimientos en masa, localizados mediante su sistema de coordenadas, y
 - f) Finalmente, se importó la carpeta al dispositivo android, con los archivos obtenidos a partir del software OkMap, y dentro de la aplicación se activaron de manera ordenada las planchas topográficas, mapa geológico y la imagen satelital que se deseaba visualizar. De igual modo, se visualizaron los polígonos trazados, como rutas, posibles deslizamientos y puntos de control.

1.4.3 Etapa 3: salida de campo. Se realizó la visita a campo con la información recolectada, planchas topográficas a escala 1:25.000 (153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C), mapa geológico a escala 1:100.000 (153, Chita), formatos PMA-GCA dispuestos para clasificación de cada movimiento en masa encontrado, e información digital suministrada al dispositivo móvil.

Se hizo un recorrido completo por las vías digitalizadas, ubicadas en el dispositivo móvil, y se identificaron con una coloración verde lima y naranja, contrastando con las imágenes de fondo.

Mientras se realizó el recorrido, se activó la función *track* en el dispositivo *android*, generando una línea en formato KML, de color rojo, superpuesta a las previamente trazadas. En el proceso de recorrido se verificaron los posibles deslizamientos localizados, se desarrollaron los formatos PMA-GCA y se ubicaron las estaciones de geomorfología, geología y canteras o puntos de control, siendo escrita dicha información en la cartera de campo y ubicada en las planchas topográficas. Adicionalmente, se marcó un *Waypoint* por cada estación en el GPS para confirmar la información de manera precisa.

1.4.4 Etapa 4: procesamiento de la información obtenida. Se realizó el respectivo tratamiento de la información obtenida en campo, realizando su procesamiento e interpretación, así:

- a) Se ubicaron los puntos geológicos, geomorfológicos, puntos de control y movimientos en masa, en las planchas topográficas escala 1:25.000, digitales, (153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C), a través del software ArcGis 10.2.2.;
- b) Se desarrollaron los cálculos de dimensiones para cada movimiento en masa, a partir de una hoja de cálculo en el software Microsoft® Excel®, con presentación de las formulas correspondientes a cada tipo de deslizamiento, a fin de obtener resultados precisos y ordenados;
- c) Se localizaron los movimientos en masa proyectados, en sus coordenadas reales;
- d) Se realizó la selección de fotografías con mayor aporte de información geológica y geomorfológica;
- e) Se realizó la digitalización de contornos de cada uno de los movimientos en masa encontrados en el área, y
- f) Se organizó totalmente la información obtenida.

1.4.5 Etapa 5: realización del mapa geológico preliminar. Se realizó la validación, ajuste de la información geológica, y se actualizó la información a escala 1:25.000, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la etapa 4 e insumos de la etapa 1. Para ello, se verificó el trazo y ubicación de fallas, contactos, depósitos, y demás formaciones geológicas, con el apoyo del mapa geológico escala 1:100.000 (153, Chita), el modelo de sombras (Hillshade), el modelo de elevación (DEM), el modelo de pendientes (Slope) y Google Earth Pro.

1.4.6 Etapa 6: insumo variables morfométricas. En esta etapa se realizó un insumo fundamental para la interpretación de las unidades geomorfológicas, siendo denominado como “variables morfométricas”, en el que se presentan tres atributos fundamentales. La morfometría comprende la base fundamental de información necesaria para la interpretación de las unidades geomorfológicas, y se compone de tres (3) aspectos:

- a) Pendientes: se realizó en el software ArcGis 10.2.2, con el modelo de elevación digital (DEM) como insumo principal. Una vez analizado, interpretado y reclasificado, se procesó el mapa de pendientes respectivo del área de estudio;
- b) Rugosidad: se realizó mediante el software ArcGis 10.2.2, mediante la extensión “*Terrain Ruggedness (VRM)*”, que generó una interpretación del modelo de elevación correspondiente a la zona. Tras ser reclasificada, se obtuvo como producto el mapa de rugosidad del área de estudio, y

- c) Acuenca: se tomó como insumo principal el modelo de elevación digital (DEM) de la zona de estudio, con el que se implementó la operación *Flow Direction*, *Flow Accumulation*, y la operación respectiva por su área de celda, dando como resultado el mapa de acuenca correspondiente al área de estudio.

A partir de estos tres aspectos y gracias a la implementación de programas auxiliares, como Google Earth Pro, el insumo obtenido a partir del Software SAS Planet y el modelo de sombras (Hillshade), se desarrolló la interpretación geomorfológica respectiva de la zona, en la que se incluyeron los movimientos en masa cartografiados, a escala 1:25.000, siendo clasificados según el tipo de movimiento presentado y las unidades antropogénicas.

1.4.7 Etapa 7: realización del mapa geomorfológico preliminar. Se realizó el respectivo mapa geomorfológico de la zona de estudio, con ayuda de los softwares ArcGis 10.2.2, Google Earth Pro y SAS Planet. Posteriormente, se visualizó la imagen de alta resolución en el software ArcGis 10.2.2; el área de estudio, en Google Earth Pro, con una exageración de 1,7 para definir variación de unidades geomorfológicas y se generó el modelo de pendientes, reclasificado en cinco clases, de acuerdo a la clasificación propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (ver tabla 4. Tabla de susceptibilidad de la pendiente. INGEOMINAS 2011), para generar la correcta interpretación de las unidades.

1.4.8 Etapa 8: atributo morfodinámico. Se realizó una agrupación de tres componentes principales: las variables geométricas derivadas del DEM (combinación de relieve relativo e índice de ladera), la representación cartográfica de suelos transportados observados como geoforma (unidades de suelo) y el inventario de procesos registrado en campo (mapa de procesos)¹.

En cuanto a la combinación de relieve relativo e inclinación de ladera, se realizó el análisis respectivo, partiendo del modelo de elevación digital (DEM) de la zona de estudio, como insumo principal, sobre el cual se desarrolló el cálculo de pendientes y reclasificado, según los valores propuestos en la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano “SGC” (ver tabla 7. Clasificación de relieve relativo), que posteriormente se combinó con el atributo inclinación de ladera, para generar el primer componente de los tres necesarios, y así obtener el atributo morfodinámico.

En lo relativo con las unidades de suelo, se realizó el análisis correspondiente a las unidades geomorfológicas cartografiadas, a partir del atributo anterior (atributo morfometría), en la que se incluyeron todos los ambientes presentados desde glaciar hasta antropogénico y, con base en este, se obtuvo el resultado de las unidades de suelo, por medio de interpretación matemática.

¹ servicio geológico colombiano. **documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000.** servicio geológico colombiano, bogotá, d.c.: 2013. pág. 64.

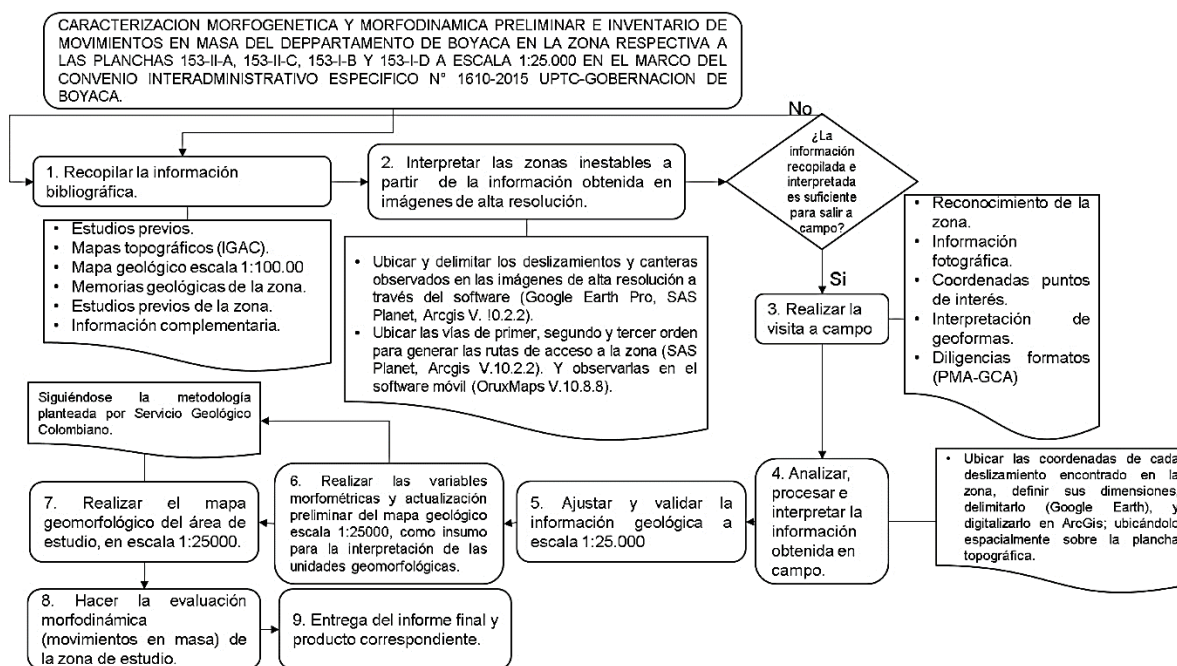
Posteriormente, se realizó la clasificación respectiva de los movimientos en masa, generando el mapa de procesos, para lo cual se tuvo como insumo principal el inventario de movimientos en masa, registrado en la etapa 3.

A partir de esta asociación de valores, se generó una distribución espacial de los movimientos y el comportamiento del relieve asociado a las características del material.²

1.4.9 Etapa 9: entrega del producto final. En esta etapa final se hizo entrega del producto correspondiente, comprendido por los mapas geológicos preliminares a escala 1:25000, los mapas geomorfológicos preliminares a escala 1:25.000 y el informe final.

A continuación, se presenta el proceso metodológico de manera secuencial:

Figura 1. Proceso metodológico secuencial



Fuente: el autor.

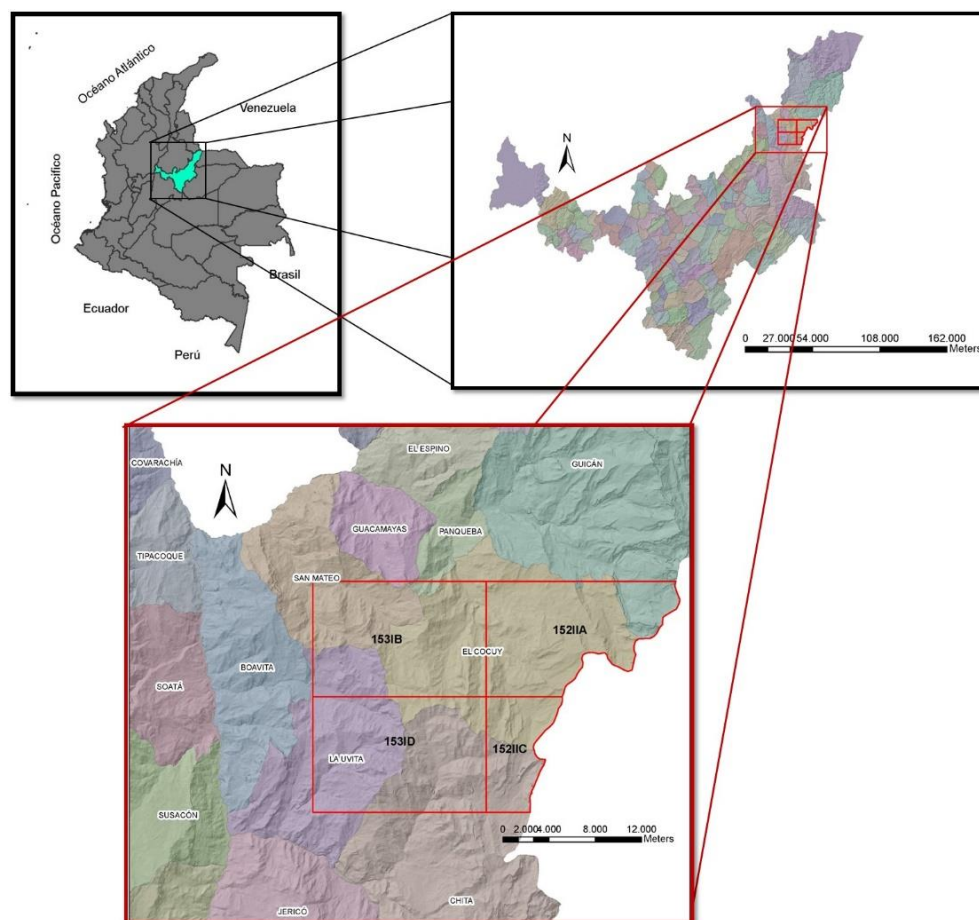
1.5 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se presenta al noreste del departamento de Boyacá, comprendiendo los municipios de San Mateo, Guacamayas, Panqueba, El Cocuy,

² ídem.

Güican, La Uvita y Chita, entre las coordenadas $X=835.000$ y $Y=1'200.000$ y las coordenadas $X=866.768,755$ y $Y=1'180.000$ (Origen Magna Colombia Este). El área de estudio se localiza a una distancia de 129,3 km al noreste de Tunja, ciudad capital del departamento de Boyacá, y a 251,8 km de la capital del país, y se ubica sobre el norte de la cordillera oriental. Hidrográficamente, se ubica entre las subcuencas de los ríos Chicamocha y Nevado, tal como lo ilustra la figura 2. a continuación.

Figura 2. Localización de la zona de estudio.



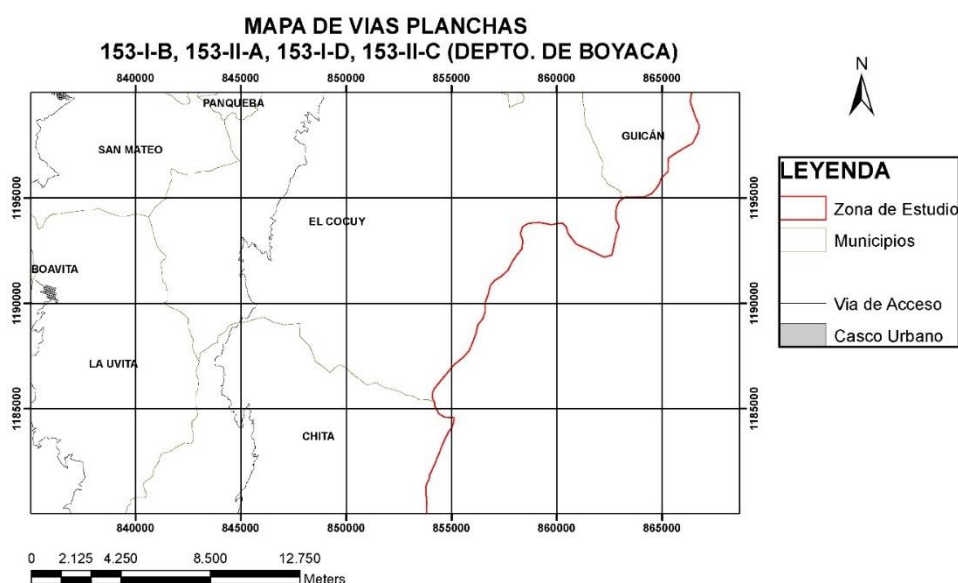
Fuente: el autor

1.5.1 Vías de acceso. Como punto de referencia, se tiene al municipio de La Uvita, debido a que es el municipio que abarca mayor cantidad de vías de acceso a la zona de estudio. A este municipio se puede acceder por varias vías que tienen como eje principal la ruta 55, pasando por el municipio de Soatá.

El municipio cuenta con tres vías intermunicipales; la primera, hacia el norte, conecta al municipio de La Uvita con el municipio de San Mateo, encontrándose en muy buenas condiciones, pavimentada y con buena señalización. Su afectación es

mínima. De seguir por esta vía hacia el este, pasando por el municipio de Guacamayas, se llega al municipio de El Cocuy. Hacia el oeste se conecta con el municipio de Boavita, siguiendo hacia Soatá y conectando con su eje principal, que es la ruta 55. Finalmente, hacia el sur, se conecta con el municipio de Chita; la vía se encuentra en malas condiciones, sin pavimentar y bastante afectada, debido al paso frecuente de transporte pesado. De seguir por esta vía hacia el norte, se conecta nuevamente con el municipio de El Cocuy, como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Vías de acceso.



Fuente: el autor.

1.5.2. Hidrografía. El área de estudio presenta una compleja red de drenajes, entre los cuales se encuentran tres principales.

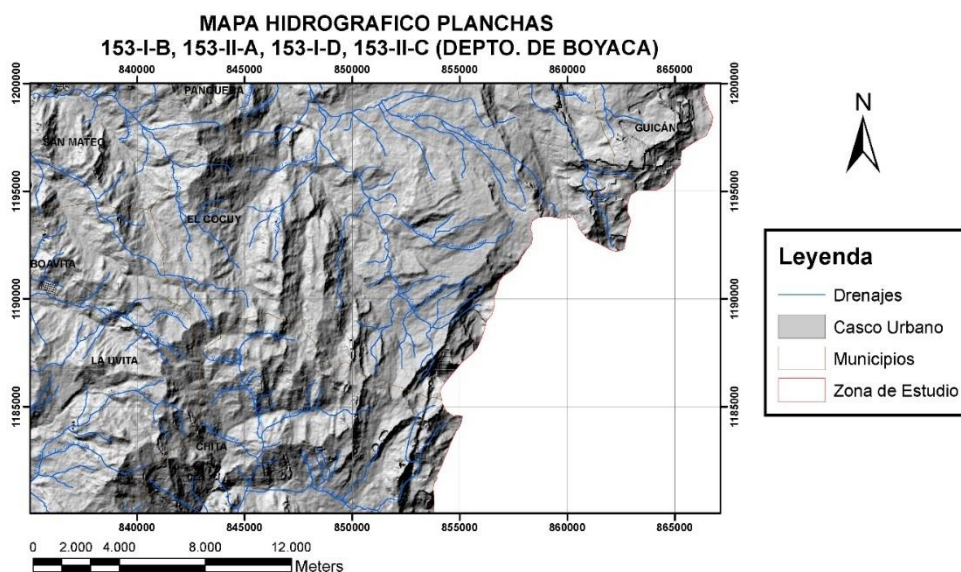
- Rio Nevado: se direcciona en sentido oriente a occidente, cubriendo un área municipal aproximada de 8,3 km², dando un aporte hídrico municipal por medio de la quebrada Zaragoza; su caudal promedio es estimado en 16,2 m³/s y recorre todo el sector norte del área de estudio, sirviendo de límite natural entre los municipios de Capitanejo y Macarabita, con el municipio de San Mateo. Presenta un recorrido aproximado de 4,5 km, que inicia en la desembocadura de la quebrada Zaragoza, a una cota de 1.550 m.s.n.m., y termina en la confluencia con el río Chicamocha, en la cota de 1.200 m.s.n.m., recorriendo la vereda San Francisco.³

³ Mapa de riesgo de la calidad de agua para consumo humano del nacimiento El Ojo, Vereda Río de Arriba, fuente abastecedora de la Vereda Río de Arriba, sector rural del municipio de Boavita, Boyacá, pág. 21.

- b) Río Cifuentes: discurre en dirección sureste a noroeste, pasando por la parte sur del casco urbano del municipio de San Mateo y, metros más adelante, fuera de la zona de estudio, convirtiéndose en el Río Dragú o Canutal, que finalmente desemboca en el Río Nevado (Ver figura 4. Mapa hidrográfico).
- c) Río Chicamocha: recorre la zona de estudio por el costado occidental, separando el municipio de Boavita de los municipios de Soatá y Susacón. Este drenaje recorre aproximadamente 28 km del territorio municipal de Boavita, desde su entrada, en la desembocadura de la quebrada Chorrera, a una altura de 1.600 m.s.n.m., hasta la confluencia con el río Nevado, a una altura de 1.200 m.s.n.m., recorriendo la parte baja de las veredas de San Francisco, Cachavita, Sacachova, Chorrera, Río Abajo, Melonal, Cabuyal y Lagunillas.⁴

En el área de estudio, en segundo orden de importancia, se presenta la siguiente serie de quebradas de orden local: Agua y Pan, Agua bendita, Agua clara, Cortadera, Escobal, Gaital, Huerta vieja, La Negra, Mortiño, Nieto, Piedrasal, Rincón, San Luis y Vulconal.

Figura 4. Mapa hidrográfico



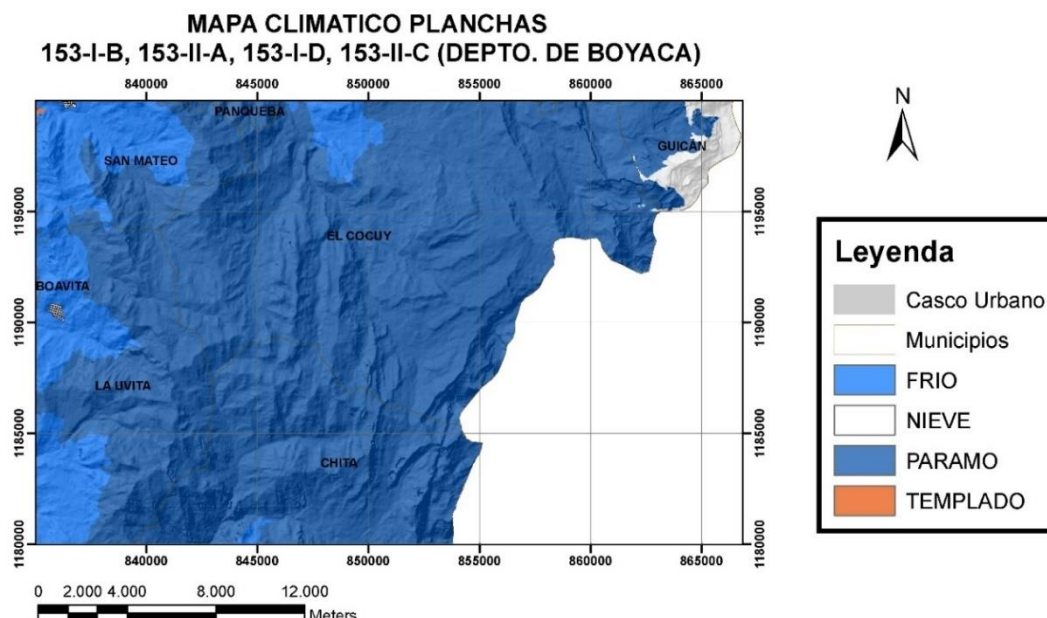
Fuente: el autor.

1.5.3 Clima. El clima del área de estudio, en general, como todos los climas de zonas tropicales está directamente relacionado con los diferentes niveles de altura sobre el nivel del mar. En aspecto general la temperatura oscila entre los 0 y los 26 °C, presentando variaciones topográficas entre 1.900 y 5.150 m.s.n.m. Dichos

⁴ ibídem.

parámetros permiten definir diferentes pisos bioclimáticos, siendo caracterizados en orden ascendente como: templado o medio, frío, páramo y nieve, siendo excluido el piso térmico bioclimático referente a cálido, debido a que su nivel de altura no es contemplado en la zona de estudio.

Figura 5. Límites de clima.



Fuente: el autor.

El mapa de clima del área de estudio (ver figura 5. Límites de clima) fue realizado basado en el modelo de elevación digital (DEM) del área de estudio, con el software ArcGis 10.2.2, en el que se realizó la respectiva clasificación, de acuerdo con los niveles de altura presentados en el DEM (ver tabla 1. Límites de clima), en el cual se clasifica en 5 categorías, de acuerdo con los límites propuestos por el Instituto de Hidrología y Meteorología y Estudios Ambientales “IDEAM”, arrojando como resultado 4 climas de 5, variando su altura desde los 1.900 m.s.n.m. hasta superar los 4.500 m.s.n.m.

Tabla 1. Límites de clima

PISO BIOTÉRMICO O CLIMA	ALTURA (M.S.N.M.)	TEMPERATURA (°C)
Cálido	0 - 1.000	>24
Templado o medio	1.000 - 2.000	18-24
Frío	2.000 - 3.000	12-18
Páramo	3.000 - 4.500	<12
Nieve	>4.500	0

Fuente: IDEAM

1.6 ESTADO DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA

La información recopilada e implementada en el presente documento consiste en:

- a) Planchas y memorias explicativas: 136, Málaga, 137, El Cocuy, 152, San Mateo, 153, Chita y 172, Paz de Rio, que fueron empleadas en el desarrollo del capítulo correspondiente a la geología, descripción de unidades geológicas, estratigrafía y construcción de la columna estratigráfica;
- b) Documento de “Recursos carboníferos área Sátiva-Boavita-San Mateo, Proyecto sub 09-24”, que fue implementado como complemento a las memorias explicativas en el área de la descripción de geología y unidades geológicas;
- c) Documentos “Estandarización de geoformas de ambiente glacial y periglacial”, “Estandarización de geoformas de ambiente estructural”, “Estandarización de geoformas de ambiente fluvial y lagunar”, “Propuesta glosario ambiente denudacional” y “Glosario de unidades y subunidades geomorfológicas”, del Servicio Geológico Colombiano (SGC), que fueron utilizados en el desarrollo de la descripción de ambientes y unidades geomorfológicas presentes en la zona de estudio.
- d) Texto “Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, escala 1:100.000”, que se implementó para el desarrollo del mapa geomorfológico, generando los insumos referentes a mapas, morfometría, morfodinámica y morfogénesis, dentro de los cuales la morfometría se subdivide en insumos de mapa de pendientes, rugosidad y acuenca;
- e) Documento “Estándares de cartografía geológica digital para planchas a escala 1:100.000 y mapas departamentales, versión 2”, que se implementó en el desarrollo del mapa geológico, basado en la categorización por códigos para fallas, datos estructurales y pliegues, entre otros, y
- f) Documentos “Movimientos en masa en la Región Andina – una guía para la evaluación de amenazas” y “Morfometría para los tipos de movimientos en masa – simma”, que se implementaron para el desarrollo de los formatos PMA-GCA, y para el cálculo de las respectivas medidas para cada tipo de deslizamiento.

1.7 TRABAJO DE CAMPO

El proceso de campo es la etapa fundamental o base de este proyecto, debido a que es la que enmarca un antes y un después en el proceso, confirmando la

veracidad de la información obtenida previamente y agregando información indispensable para su correcto desarrollo.

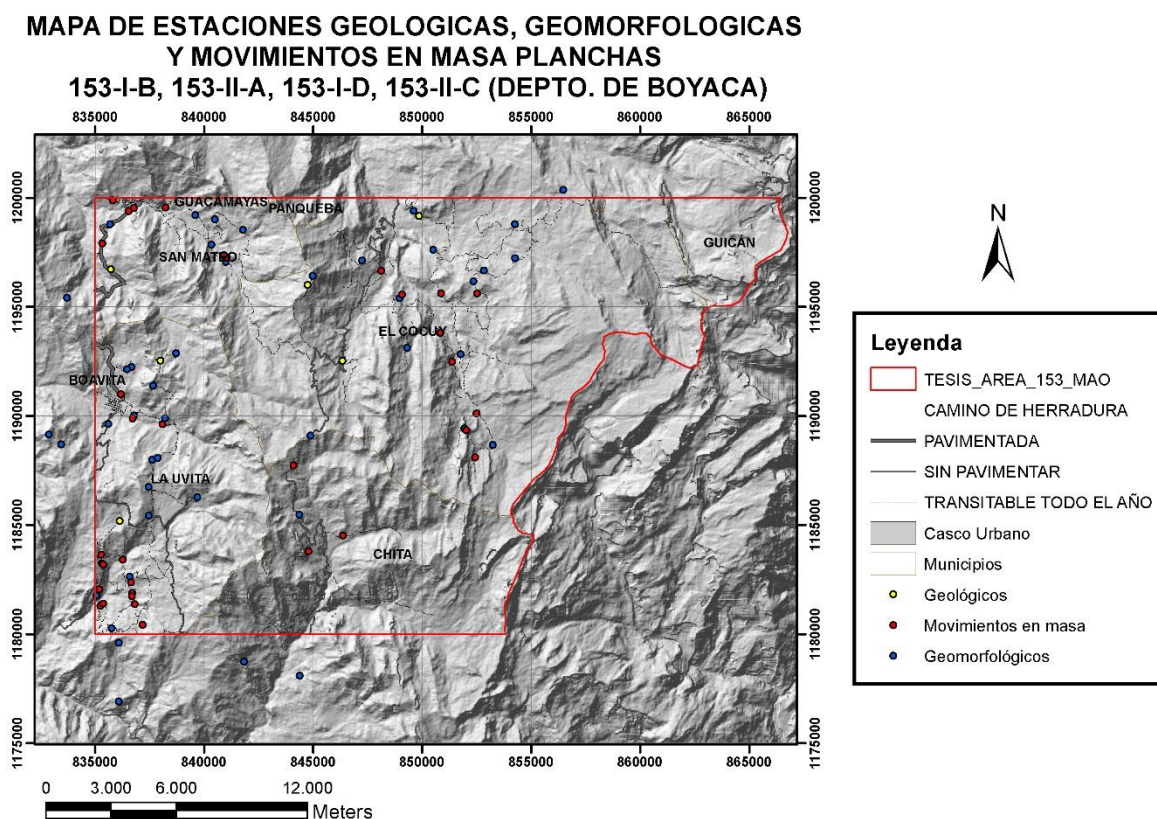
En la salida de campo se definieron estaciones de estudio, que se dividieron en tres clases:

- a) Estación Geológica, definida con la letra A al final del código correspondiente a la estación, en la que se hizo la descripción detallada y la caracterización de la formación geológica, contacto y estructura observada en dicho lugar. Lo esperado en este tipo de estación es encontrar un sector donde se observe con claridad la dirección de estratos, se pueda obtener muestra del material y, si es posible, observar el contacto entre formaciones, sea concordante o discordante;
- b) Estación Geomorfológica, definida con la letra B al final del código correspondiente a la estación, en la que se adelantó la descripción de las geoformas observadas desde la estación localizada. En este tipo de estación se desea localizar un punto de gran altura, que permita observar la mayor cantidad de área en extensión, con claridad y baja nubosidad, siendo una vista apropiada para la clasificación de la mayor cantidad de geoformas. De igual modo, se realiza la toma de fotografías a distintas distancias para generar gran detalle en la mayor cantidad de geoformas posibles, y
- c) Estación de Movimientos en Masa, definida con la letra C al final del código correspondiente a la estación, en la que se consolidó la descripción de los movimientos en masa, llenando el respectivo formato PMA-GCA, clasificándolo por tipo de movimiento, material y dimensiones, junto a los demás datos propios. Lo esperado en esta estación es clasificar movimientos que superen los 50 m de anchura y 50 m de longitud, siendo posible su representación cartográfica a escala 1:25.000.

En los anexos de este trabajo se presenta la tabla respectiva a las estaciones realizadas en campo (ver ANEXO A. Tabla de estaciones realizadas en campo, con sus respectivas coordenadas), ubicadas de manera categorizada por tipo de estación.

A continuación, se presenta el área donde fue realizada la actividad de campo y sus correspondientes estaciones (ver figura 6. Mapa de estaciones del área de estudio), en la que se pueden identificar ocho estaciones geomorfológicas fuera de la zona, ya que, de manera indispensable, debía ser tomado este registro fotográfico fuera del área de estudio, para complementar las geoformas presentes en su borde externo.

Figura 6. Mapa de estaciones, del área de estudio.



Fuente: el autor.

2. INVENTARIO DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Los Andes son jóvenes, en términos tectónicos, presentando un relieve topográfico abrupto, con actividad sísmica y vulcanismo extenso. Adicionalmente, incorpora agentes externos que generan una profunda meteorización, lo que conlleva a una elevada presencia de amenazas por movimientos en masa. Importa señalar que algunos de los peores desastres asociados a movimientos en masa en el mundo han ocurrido en Los Andes, como el flujo de detritos de Vargas, en Venezuela, para el año 1999, que presentó alrededor de 15.000 víctimas; el Lahar, de grandes dimensiones, ocurrido en Armero, Colombia, en el año 1992, con alrededor de 23.000 víctimas, y la avalancha de rocas y hielo con flujo de detritos de 1970, en el Nevado Huascarán, en Perú, que arrebató alrededor de 18.000 vidas. Adicionalmente a estos grandes desastres, cientos de pequeños movimientos interrumpen el correcto funcionamiento de las ciudades aledañas. Este fue el concepto principal para que se generara una iniciativa para la creación del Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, PMA:GCA, desarrollado por el Servicio Geológico de Canadá y los institutos líderes de investigación geológica en la región andina, cuyo propósito es el de contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes de los Andes, reduciendo el impacto negativo de las amenazas naturales.⁵

2.1 DILIGENCIAMIENTO DEL FORMATO PMA:GCA

El formato PMA-GCA presenta una serie de características que describen y clasifican un movimiento a cabalidad, siendo estas agrupadas en 16 grandes temas de información sobre el movimiento en masa, que a su vez se agrupan en clases particulares, así⁶:

- a) Encabezado;
- b) Localización geográfica y documental del evento;
- c) Actividad del movimiento;
- d) Litología y estratigrafía;
- e) Clasificación del movimiento;
- f) Morfometría;
- g) Causas del movimiento;
- h) Tipo de erosión;
- i) Cobertura y uso del suelo;
- j) Documentos de referencia;
- k) Efectos secundarios;
- l) Importancia del evento;
- m) Daños;
- n) Notas y apreciación del riesgo;

⁵ Movimientos en masa de la región andina: una guía para la evaluación de amenazas, pág. xix.

⁶ Movimientos en masa de la región andina: una guía para la evaluación de amenazas, pág. 88.

- o) Esquema, y
- p) Registro fotográfico.

Los campos enunciados anteriormente en su clasificación se pueden diligenciar con incorporación de texto o llenado numérico o con la aplicación de una X en el lugar requerido.

Adicionalmente, en algunos sectores los datos requeridos son producto de recopilación de información documental, de levantamiento directo en campo, o de ambas opciones combinadas.

A continuación, se presenta el método de desarrollo, de manera generalizada, sobre cómo se describe un formato PMA-GCA en la clasificación de movimientos en masa:

2.1.1 Encabezado. Se comienza diligenciando el código de desarrollo, que es la abreviación del nombre correspondiente al ingeniero encargado, seguido del número de plancha que se está desarrollando y, finalmente, el número de estación correspondiente, acompañado siempre de la letra C, recordando que es la categorización para la clase de movimientos en masa.

Posteriormente, en el campo de “Datos de registro” se diligencian los datos del encuestador y la fecha de desarrollo del formato, acompañado de la institución que realiza la labor, en este caso la “Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Grupo de Investigación Ingeniería Geológica- Gobernación de Boyacá”; en la sección “fecha” se debe identificar, en la medida de lo posible, la fecha aproximada o exacta en la que sucedió el evento y, de manera primordial, el año y mes de ocurrencia.

2.1.2 Localización geográfica y documental del evento. En esta sección se ubica primero la localización del movimiento a nivel de la división política de Colombia (Departamento, Municipio y Vereda), siguiendo con las coordenadas geográficas de la estación, aclarando la proyección (magna Bogotá, magna este, magna este este, magna oeste o magna oeste oeste), según corresponda, y especificando en qué parte del movimiento se sitúa la coordenada (corona, cuerpo o pata), o si es un movimiento Proyectado (Proyección). También, en este campo, se describen los referentes geográficos, que pueden ser vías o drenajes, o la localización con respecto a algún sitio de interés, ubicado en la plancha topográfica. Finalmente, se registran las planchas topográficas, año de realización de las mismas, escala correspondiente y, si es posible, el número de vuelo que comprende esa zona.

2.1.3 Actividad del movimiento. En este segmento se comienza a definir la edad del movimiento, que va directamente relacionada con la fecha identificada en la sección de “datos de registro”, siendo categorizada en ocho posibles clases (>1 año, 1 a 5 años, 6 a 10 años, 11 a 15 años, 16 a 20 años, 21 a 30 años, 31 a 40 años,

41 a 60 años, 61 a 80 años, o >80 años); y se continúa a describir el estado, que puede categorizarse según como se observa el movimiento, y que puede ser activo o inactivo.

Cuando se identifica como activo, el movimiento se puede clasificar en tres clases:

- a) Activo, cuando aún está afectando a la sociedad y sigue vigente su actividad;
- b) Reactivado, cuando de algún tiempo a la actualidad volvió a presentarse movimiento;
- c) Suspendido, cuando se encuentra en reposo por un tiempo, pero volverá a actuar;

Cuando se identifica como inactivo, es decir: cuando se asume que se ha detenido, el movimiento se puede clasificar en cuatro clases:

- a) Latente, cuando se encuentra suspendido, pero con probabilidades de regresar a su actividad en algún instante;
- b) Abandonado, cuando ya no representa ningún riesgo, debido a que probablemente se detuvo;
- c) Estabilizado, cuando pasó a ser inactivo por efectos de alguna obra realizada por el hombre, como un contrafuerte, y
- d) Relicto, cuando muestra que es el producto final del desarrollo de un movimiento, siendo interpretado que, debido a su antigüedad, es el resultado final de su deceso.

El siguiente componente es el “Estilo”, que permite indicar si es un movimiento único o se ve afectado en sociedad con otro tipo de fenómeno de remoción en masa, o un grupo mayor de movimientos, a una distancia cercana que podría ser categorizado como enjambre (varios movimientos a distancias tan cortas que se catalogan como el conjunto en uno mismo).

Al referirnos a su “Distribucion”, nos estamos basando en la secuencia y dirección que sigue el movimiento en masa, siendo *retrogresivo*, uno de los más frecuentes, indicando que el movimiento se desplaza hacia atrás; cada vez que avanza el movimiento, su corona cae y se va ampliando el movimiento; *avanzado* y *ensanchado* nos indican el flujo del movimiento en dirección gravitacional, así como la ampliación de las paredes del mismo; *confinado* es que tiende el movimiento y material desplazado hacia un mismo punto; *creciente* es que se hace mayor a medida que desciende, y *decreciente* indica una menor cantidad de movimiento al descender.

La “Descripción” es un segmento dedicado a texto abierto, en el que se debe definir de manera geológica el movimiento, su localización, formación sobre la cual ocurre y posible proceso de desarrollo.

2.1.4 Litología y estratigrafía. La de “Litología y estructura” es la sección en la que se puede generar una breve descripción de la litología y estratigrafía del área que conforma el movimiento, entre la cual se incluye el origen de la roca, formación y descripción litológica y estratigráfica, llenándose los campos requeridos.

2.1.5 Clasificación del movimiento. Este sector se divide en algunas clases, propias ya del movimiento, donde se define:

En cuanto al tipo de movimiento, ocasionalmente los descritos son: complejo, compuesto o múltiple, que se pueden categorizar en dos clases, dándole relevancia a una de ellas. Las categorías propuestas son:

- a) Caída, en la que el movimiento es casi vertical y la roca o detrito cae sin fuerza de rozamiento hasta el contacto con el suelo;
- b) Volcamiento, que se define como el giro rotacional guiado por la gravedad, generando el impacto del material contra el suelo, en sentido rotacional contrario a la pendiente y que se da frecuentemente en estratos en pro de la pendiente, con buzamientos superiores a los 70°;
- c) Flujo, que consiste en materiales finos, rodados por pendientes superiores a los 45°, generando depósitos de material en la pata del movimiento, y
- d) Reptación, que consiste en un deslizamiento de baja pendiente, con una superficie de falla de semiprofunda a profunda, desarrollando el desplazamiento de material y generando montículos y escalonamiento en el terreno, siendo estos los aspectos visibles más frecuentes.

En cuanto al subtipo de movimiento, indica éste la subclasificación correspondiente a lo caracterizado en el punto anterior, donde pueden ser catalogados los movimientos como: caídas de detritos, roca o tierras, deslizamientos traslacionales, rotacionales, en cuña, flujos de tierra, turba o avalanchas, entre otros, lo cual va directamente relacionado con la superficie de falla del movimiento y el material transportado.

En cuanto al tipo de material, se refiere directamente al material transportado por el movimiento y su producto, siendo roca, detritos, tierras, lodos o turba. Posteriormente se llenan campos como humedad y plasticidad, referentes al suelo.

Sobre el *origen de suelo*, el registro depende del origen del cual proviene el material erodado. Así mismo, el *tipo de depósito* depende del ambiente en que se deposita, aclarando que solo es válido para suelo de origen sedimentario. Finalmente, su *velocidad* depende directamente de la cantidad de material depositado, en función de un tiempo determinado, como lo indican los valores presentes.

2.1.6 Morfometría. Este campo registra las dimensiones del movimiento. En la sección “General” se incluye la longitud vertical y horizontal, la hipotenusa, los ángulos presentes, pre y posfalla, un fahrböschung y la dirección de azimut, todos siendo obtenidos a partir de una serie de fórmulas matemáticas, que para fines prácticos se encuentran dispuestos en una hoja de cálculo digital.

En la sección de “Dimensiones del terreno” se indican las dimensiones del material desplazado y se calculan de acuerdo a las gráficas propuestas en el documento “Morfometría para los tipos de movimientos en masa – simma”, perteneciente al Servicio Geológico Colombiano (SGC); en la sección de “Deformación del terreno” se define el modo de deformación y su severidad, y en la sección de “Geoforma” se define el tipo de ambiente geomorfológico al que pertenece, incluyendo una descripción breve, correspondiente a la geomorfología del movimiento.

2.1.7 Causas del movimiento. En cuanto a “Factores inherentes”, son la clasificación del tipo de material y sus características físico-químicas, a las cuales está asociado el material perteneciente al movimiento; los “contribuyentes y detonantes” son factores externos que pueden afectar el terreno, generando movimientos en masa, que se dividen en dos clases: el contribuyente significa que tuvo efecto en el proceso, mas no fue su causa final, y el detonante, que fue la causa final que generó el desplome del movimiento.

2.1.8 Tipo de erosión. Este aspecto hace referencia al tipo de erosión visible, sea “superficial”, catalogándose como tierras malas, surcos, cárcavas, laminar, entre otros. Su erosión “subsuperficial” se clasifica en cavernas o tubificación, según corresponda. La “edad” define si es muy antigua o reciente la erosión descrita. Su “estado” especifica en qué categoría se encuentra, sea baja o moderada, y en casos extremos se denota como severa. Finalmente, se presenta el tipo de erosión, “fluvial” o “eólica”, dependiendo de si los factores son por escorrentía o vientos de elevada magnitud.

2.1.9 Cobertura y uso del suelo. La “cobertura” define porcentualmente lo que se ve dentro del área y sectores cercanos, con distancia menor a 100 m del movimiento en masa, como construcciones, pastos, bosques o cuerpos de agua, entre otros. Cabe aclarar que la suma de los componentes descritos debe ser igual a 100%.

El “uso de suelo” indica un porcentaje del mismo con respecto a las actividades que en él se realizan, sea pastoreo, recreación, construcción de vías, vivienda, minería o sin uso, entre otros.

2.1.10 Documentos de referencia. Esta sección se refiere a documentos que el encuestador debe consultar para complementar el trabajo, definiendo los campos correspondientes.

2.1.11 Efectos secundarios. Se define en términos de represamiento de agua, según la clasificación de Costa y Schuter (1988). Para mayor información se puede referir al libro, “Movimientos en masa de la Región Andina, una guía para la evaluación de amenazas” (pág. 97)⁷

2.1.12 Importancia del evento. Esta categoría debe ser llenada finalizado el formato, tomando en consideración todos los datos registrados en el mismo y seleccionando la casilla correspondiente, según los tres 3 tipos de clasificación propuestos: alta, media o baja.

2.1.13 Daños. Esta categoría se refiere a la población y los efectos sufridos por el movimiento en masa, caracterizándose en “población afectada”, cuando ocurre en un territorio poblado en el que se encuentre afectada la vida de la población. En cuanto tiene que ver con “infraestructura, actividades económicas y daños ambientales”, se categorizan con las letras I, E y A, respectivamente. En el “tipo” se especifica qué aspecto se ve afectado y, siguiente a éste, se define su área y el “tipo de daño”, que se puede identificar desde DL (daño leve) hasta NC (no cuantificable) y, si es posible, se registra la cuantificación de daños en valor monetario.

2.1.14 Notas y apreciación del riesgo. Este campo es definido para llenar con texto, a consideración del encuestador, y se divide en dos casillas. La casilla “nota” se implementa para que el encuestador ubique cualquier aspecto que desee resaltar y, adicionalmente, registre si el movimiento es de fácil acceso o no, caso en el cual se toma como proyección. En esta situación, se describe la distancia y dirección de la ubicación, con respecto a las coordenadas actuales. La segunda casilla es la de “apreciación del riesgo”, indicada para generar una estimación de daños, posibles consecuencias de continuar el movimiento y valor del riesgo en el lugar del hecho, así como su importancia.

2.1.15 Esquema del movimiento. Son dos espacios de tamaño considerable, definidos para generar la representación gráfica y el detalle del movimiento. El espacio de la izquierda se usa para registrar una vista de planta para el movimiento, indicando detalles relevantes, composición geológica, dimensiones, drenajes, y referentes geográficos. El espacio de la derecha se usa para producir un modelo gráfico del movimiento, visto de perfil, en el que se calculen las dimensiones faltantes, que solo pueden ser colocadas en esta vista.

⁷ Ob. Cit.

2.1.16 Registro fotográfico. Este es un anexo en el que se debe definir una serie de cuatro fotografías relevantes que representen el movimiento y sus detalles en su mejor expresión, registrando la fecha de la toma, el código de cada foto, el autor y, si aplica, algunas observaciones.

Es importante recordar que algunos campos no son obligatorios, debido a que las condiciones específicas de llenado competen a determinados lugares, sucesos, ambientes o materiales específicos, por lo que resulta opcional diligenciarlos. Los campos marcados con (*) son de carácter obligatorio pues cumplen función en cualquier aspecto, o tipo de movimiento presentado.

Para el caso particular de este trabajo, se presentaron treinta y nueve movimientos en la zona (ver tabla 2. Localización de movimientos en masa en la zona de estudio), distribuidos en toda su área, entre los cuales las zonas de mayor presencia se dieron en los cauces aluviales y vías transitables. Se asume que factores contribuyentes y detonantes, como la presencia de agua y vibraciones artificiales, fueron determinantes en su desarrollo.

Tabla 2. Localización de movimientos en masa en la zona de estudio.

No.	ESTACIÓN	ALTURA	COORDENADAS		PROYECCIÓN
			NORTE	ESTE	
1	JACC_153_02C	2.506	1189868	836742	NO
2	JACC_153_07C	2.762	1189613	838101	NO
3*	JACC_153_14BC	2.749	1182362	836666	SI
4	JACC_153_15C	2.688	1181874	836708	NO
5	JACC_153_16C	2.664	1181729	836695	NO
6	JACC_153_17C	2.644	1181366	836833	NO
7	JACC_153_18C	2.898	1180418	837200	NO
8	JACC_153_22BC	2.724	1183183	835393	SI
9	JACC_153_23C	2.648	1183405	836287	NO
10	JACC_153_24C	2.717	1183625	835293	NO
11	JACC_153_25C	2.553	1182041	835197	NO
12	JACC_153_26C	2.554	1182045	835200	NO
13	JACC_153_28C	2.742	1183237	835320	NO
14	JACC_153_29C	2.396	1181368	835342	NO
15	JACC_153_30C	2.385	1181291	835259	NO
16	JACC_153_40C	2.382	1181389	835382	NO
17	JACC_153_42C	2.430	1190980	836198	NO
18	JACC_153_47AC	2.430	1196708	835740	NO
19	JACC_153_48C	2.354	1197887	835354	NO
20	JACC_153_50C	2.194	1199508	836786	NO
21	JACC_153_51C	2.177	1199366	836564	NO
22	JACC_153_53C	2.745	1197354	840923	NO

Tabla 2. Localización de movimientos en masa en la zona de estudio.
(Continuación)

No.	ESTACIÓN	ALTURA	COORDENADAS		PROYECCIÓN
			NORTE	ESTE	
23	JACC 153 54C	2.770	1197241	841059	NO
24	JACC 153 59C	2.391	1199542	838252	NO
25	JACC 153 60C	2.227	1199871	835829	NO
26	JACC 153 62AC	2.946	1199146	849868	NO
27	JACC 153 67C	3.672	1195597	852541	NO
28	JACC 153 69BC	3.618	1190097	852518	SI
29	JACC 153 71BC	3.730	1188085	852447	SI
30	JACC 153 73BC	3.892	1189339	852049	SI
31	JACC 153 76C	3.362	1195600	850889	NO
32	JACC 153 78C	3.113	1196644	848142	NO
33	JACC 153 80C	3.303	1195555	849087	NO
34	JACC 153 81C	3.508	1192461	851392	NO
35	JACC 153 82C	3.447	1193811	850855	NO
36	JACC 153 85AC	3.539	1192519	846360	NO
37	JACC 153 89C	4.002	1187723	844116	NO
38	JACC 153 91C	3.510	1184507	846383	NO
39	JACC 153 92BC	3.578	1183779	844802	SI

* el registro No. 3 se tomará como ejemplo para ilustrar el diligenciamiento del formato (ver figuras 7. Formato PMA:GCA, sección anterior del formato para la estación 14BC. y 8. Formato PMA:GCA, sección posterior del formato para la estación 14BC.)

Fuente: el autor.

A continuación (páginas siguientes), se presenta el formato respectivo a la estación 14BC, (ver figuras 7. Formato PMA:GCA, sección anterior del formato para la estación 14C. y 8. Formato PMA:GCA, sección posterior del formato para la estación 14C.), como ejemplo de presentación y diligenciamiento del formato, para un deslizamiento traslacional.

Fuente: el autor.

40

Fuente: el autor.

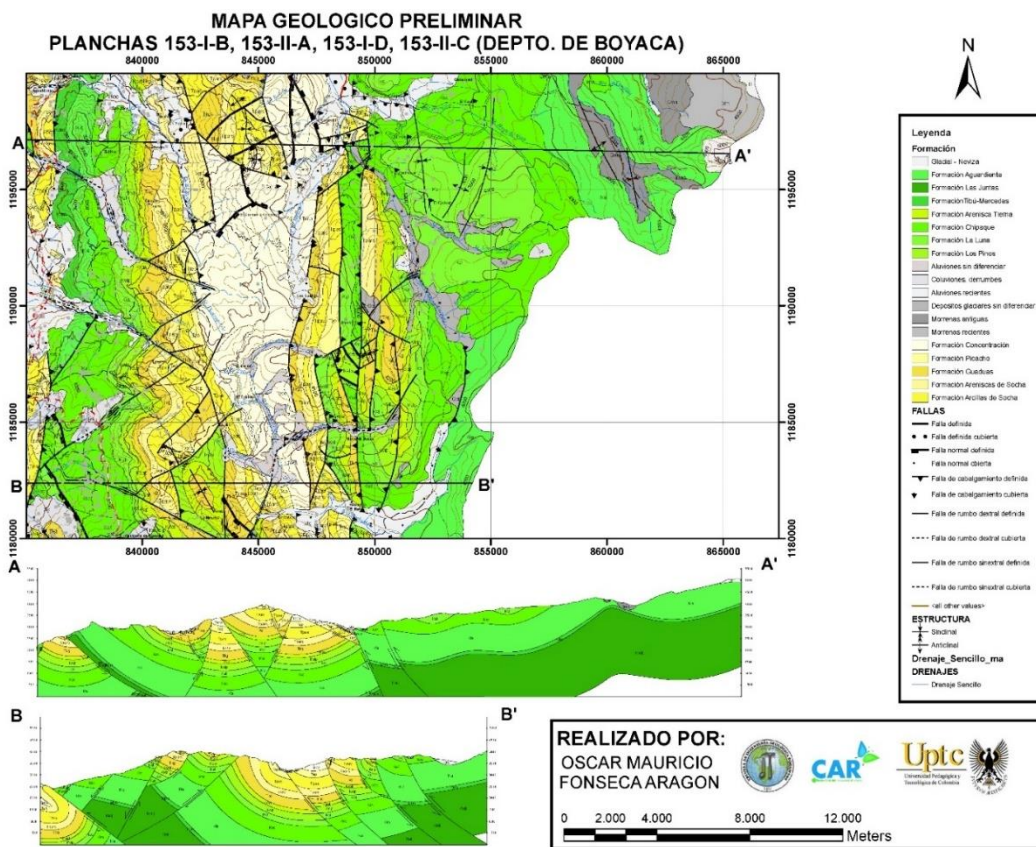
LOS CAMBIA MARCAJOS CON ASTENISCO (R) SON OBLIGATORIOS

3. GEOLOGÍA

Estratigráficamente, en los municipios de San Mateo, Guacamayas, Panqueba, El Cocuy, Güicán, La Uvita y Chita afloran rocas de origen sedimentario, pertenecientes a las formaciones Areniscas de las Juntas, Tibú-Mercedes, Une-Aguardiente, Chipaque, La luna, Los Pinos, Arenisca Tierna, Guaduas, Areniscas de Socha, Arcillas de Socha, Picacho y Concentración. Dichas rocas tienen edades correspondientes al cretácico inferior, superior y terciario, cubiertas depósito fluvio-glaciares, coluviones, morrenas recientes, morrenas antiguas, depósitos glaciares y aluviones, todos de edad cuaternaria.

A partir de la información obtenida y del proceso metodológico de actualización preliminar de geología, se obtiene el mapa geológico del área de estudio correspondiente a las planchas 153-I-B, 153-II-A, 153-I-D Y 153-II-C (ver figura 9. Mapa Geológico preliminar de la zona de estudio), con sus respectivos cortes geológicos A-A' y B-B', en el que se presentan las formaciones geológicas descritas anteriormente, sus fallas y estructuras geológicas, a escala 1:25.000 (ver ANEXOS D. y E.).

Figura 9. Mapa Geológico preliminar de la zona de estudio.

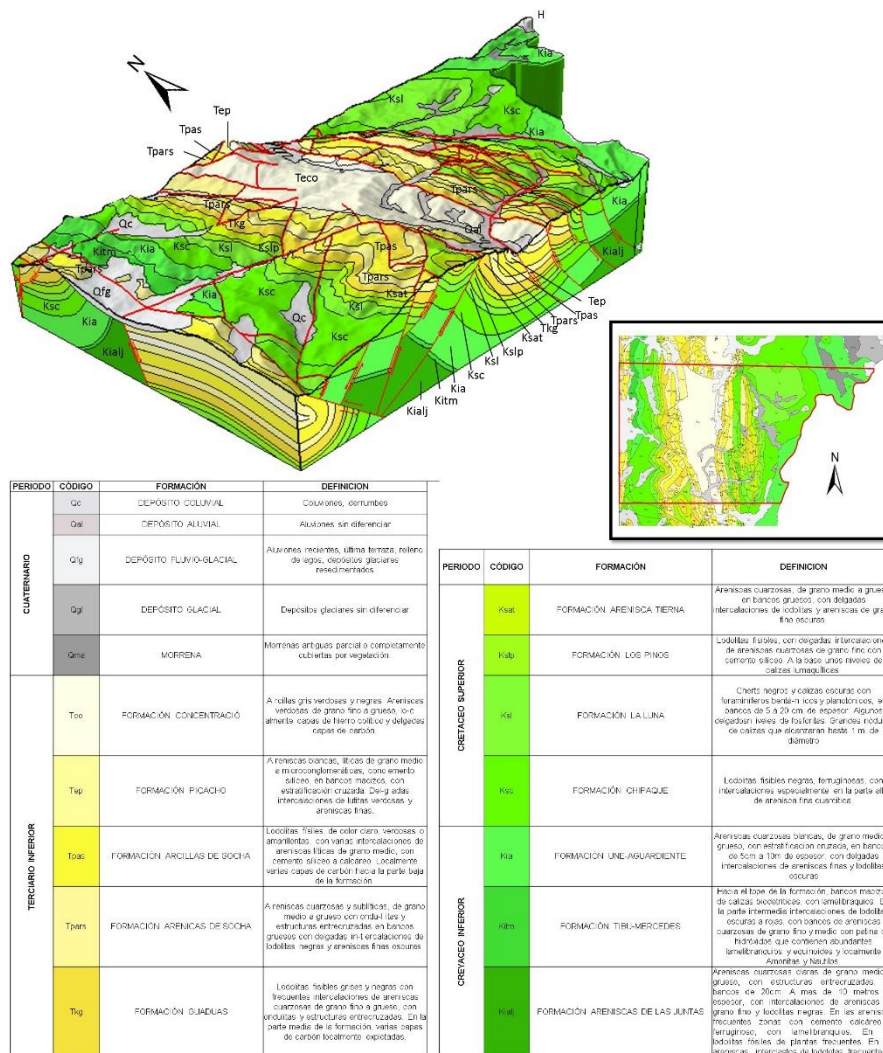


Fuente: el autor.

De igual modo, se presenta un bloque diagrama del área de estudio (ver figura 10. Bloque diagrama geología preliminar), en el que se relaciona la geología observada en superficie, así como sus fallas y estructuras geológicas, con los cortes generados en el área de estudio, mostrando la información pertinente a la distribución de estratos, tanto en superficie como a profundidad, para obtener una mayor interpretación del área de estudio.

Figura 10. Bloque diagrama geología preliminar

BLOQUE DIAGRAMA DE GEOLOGIA PRELIMINAR
PLANCHAS 153-I-B, 153-II-A, 153-I-D, 153-II-C (DEPTO. DE BOYACA)



Fuente: el autor.

3.1 MARCO TECTÓNICO

De acuerdo con lo señalado por Van der Hammen⁸, la cordillera oriental de Colombia es un cinturón orogénico convergente, cuya primera fase ocurrió después del mioceno medio, que presenta una serie de fuerzas compresionales debido a las fallas presentes en esta zona, entre las que se encuentran la falla de Chiscas, Soapaga, Onzaga, Sácama-Gibraltar y otras de carácter local⁹.

3.1.1 Falla de Chiscas. Esta falla se presenta con vergencia hacia el norte, de tipo inverso, con dirección norte-noreste¹⁰, pasando por los municipios de Chita y El Cocuy; genera un contacto entre rocas de la secuencia cretácica, al occidente, con rocas terciarias al oriente, siendo específicamente la formación Chipaque con la formación Areniscas de Socha. A medida que nos desplazamos hacia el sur, se presenta una disipación de la misma con dirección este.

3.1.2 Falla de Soapaga. Desde el sur, pasando por los municipios de Firavitoba, Sogamoso, Nobsa, Corrales y Betétiva (Plancha 172), se presentan efectos propios de esta falla, proveniente del oeste, con vergencia y disipación en dirección este, con movimiento dextral, sobresaliendo los efectos de escalonamiento¹¹, pasando por la plancha (152). Afecta los municipios de Paz de Río, Sativasur, Sativanorte y Susacón, lo que genera un aporte de compresión en dirección este, evidenciando efectos de compresión en las rocas cretácicas y terciarias del área de estudio (Plancha 153).

3.1.3 Falla de Onzaga o Boyacá. Proveniente del suroeste, generándose en el municipio de Onzaga (plancha 152), con vergencia y disipación hacia el este, presenta un efecto inverso, aportando esfuerzos de compresión al área de estudio.

3.1.4 Falla de Sácama-Gibraltar. Proveniente del municipio de Güicán (Plancha 137), en dirección norte-sur, con vergencia y disipación hacia el sur-suroeste, se presenta como una falla inversa con buzamiento hacia el occidente¹². Esta falla recorre la zona este de la plancha 153-Chita y, aunque su presencia se encuentra fuera del área de estudio, presenta efectos importantes en la misma, levantando el bloque oeste, del cual aflora la formación Lutitas de Macanal (Kilm), sobre la formación Las Juntas (Kialj).

⁸ Ob. Cit., 1958

⁹ Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del Magdalena, pág. 46.

¹⁰ Diagnóstico E.O.T municipio de Carcasí, Santander, pág. 55.

¹¹ Recursos carboníferos área Sátiva-Boavita-San Mateo, proyecto sub 09-24, pág. 26.

¹² Geología de la extremidad sur de la Sierra Nevada del Cocuy y los alrededores de La Salina y Sácama, plancha 153, chita, pág. 94.

Eventualmente, se encuentran fallas de orden local, de distinto tipo, generándose algunas de cabalgamiento, debido a las fuerzas de compresión, producto de las fallas regionales enunciadas con anterioridad y de otras fallas normales como resultado de liberación de esfuerzos en puntos determinados donde no existe fuerza de compresión.

3.2 ESTRATIGRAFÍA

3.2.1 Unidades del Cretáceo. En esta categoría se identifican las siguientes:

3.2.1.1 Formación Tibú-Mercedes (kitm).¹³ La Formación Tibú-Mercedes deriva su nombre del río Tibú y del valle Mercedes en el área de la concesión Barco, y fue catalogada en principio como parte de la formación Apón (Notestein, 1944)¹⁴; luego ascendida a la categoría de formación por Sutton (1946)¹⁵ y Rennz (1959)¹⁶, por lo que ahora se correlaciona litológicamente con la formación Apón.

Foto 1. Formación Tibú – Mercedes.



Edad / Época: Aptiano superior / Cretácico inferior

La formación Tibú-Mercedes aflora al sureste de la cabecera municipal de San Mateo, extendiéndose de manera alargada hacia el sur. Esta formación está constituida por areniscas guijosas de grano grueso en la base, caliza fosilífera,

¹³ Geología regional de la Sierra Nevada del Cocuy, plancha 137, El Cocuy, pág. 51.

¹⁴ Ob. Cit.

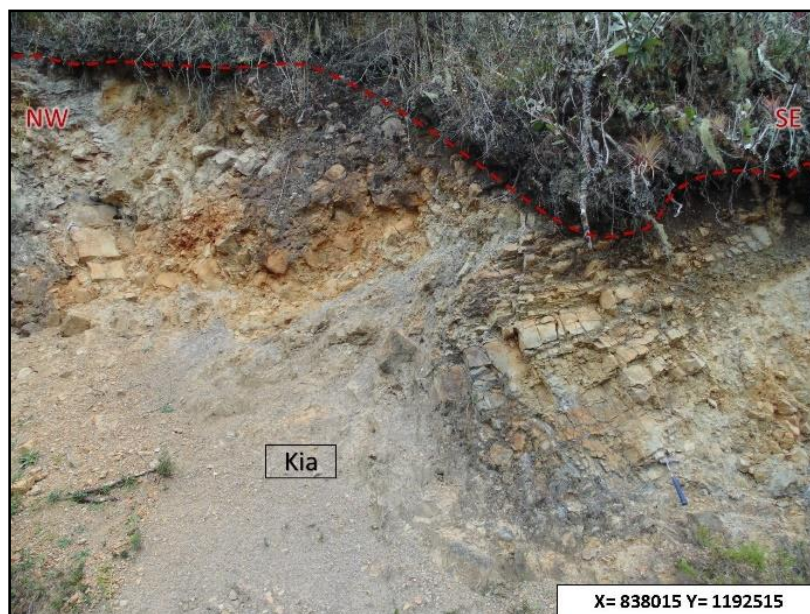
¹⁵ Ob. Cit.

¹⁶ Ob. Cit.

densa y gris, con unas pocas capas de lutitas, y areniscas de grano fino en la mitad inferior (ver foto 1. Formación Tibú – Mercedes). En su borde noroccidental está en contacto con las formaciones Areniscas y Arcillas de Socha, debido a la falla de orden inverso que se presenta desde el casco urbano de San Mateo a proximidades del caserío Cusagui, al oeste.

3.2.1.2 Formación Une-Aguardiente (Kia). La partícula “Une” en el nombre de esta formación fue definida por Hubach (1931)¹⁷ para referirse a la secuencia arenítica que aflora en la carretera Bogotá-Villavicencio, entre las formaciones de Chipaque y Cáqueza, que representa la parte media del grupo Cáqueza, siendo posteriormente utilizado por Renzoni (1962)¹⁸ como formación, para definir la sucesión litológica que aflora en las secciones de las carreteras Une-Fosca y Choachí-Bogotá. La partícula “Aguardiente” se deriva del filo de El Aguardiente, en la parte norte del domo de Santiago, al sur de la Concesión Barco (Notestein, 1944)¹⁹, que fue considerada originalmente como parte de la Formación Uribante, pero fue elevada a la categoría de Formación por Sutton (1944)²⁰.

Foto 2. Formación Une-Aguardiente.



Edad / Época: Albiano cenomaniano inferior / ietácico Inferior

¹⁷ Ob. Cit.

¹⁸ Ob. Cit.

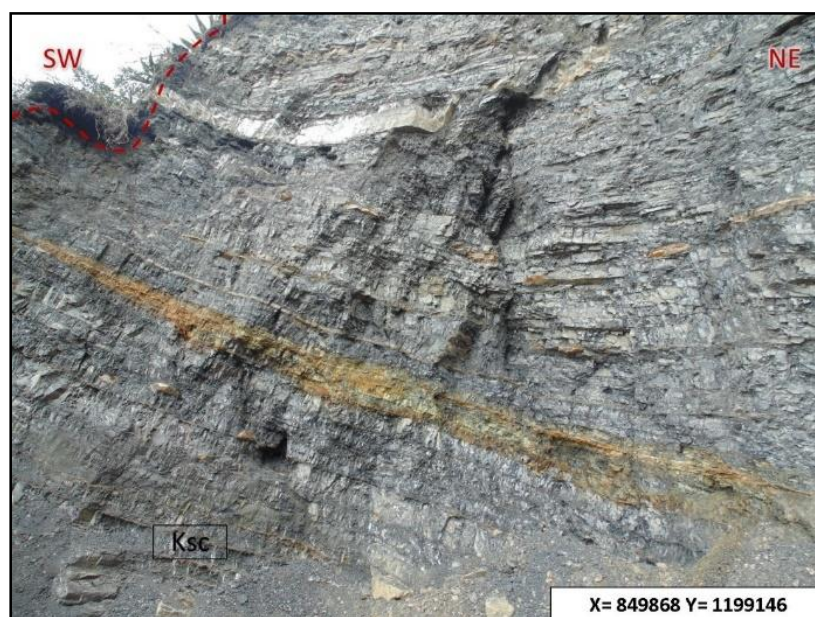
¹⁹ Ob. Cit.

²⁰ Geología de la extremidad sur de la Sierra Nevada del Cocuy y los alrededores de La Salina y Sácama, plancha 153, Chita, pág. 43.

La formación Une-Aguardiente aflora al sureste del cerro Dragú, extendiéndose de manera alargada hacia el sur. Esta formación está constituida por areniscas grises, de grano fino a grueso, glauconíticas, con intercalaciones de lutita negra, micácea, carbonosa (ver foto 2. Formación Una-Aguardiente). En su borde noroccidental, está en contacto con la formación Tibú-Mercedes, sobre la cual reposa de manera concordante, y en su borde suroriental está cubierta por rocas del cretácico superior, de la formación Chipaque.

3.2.1.3 Formación Chipaque (Ksc). El nombre “Conjunto Chipaque” fue introducido por Hubach en 1931²¹, pero la formación Chipaque fue definida como tal por Renzoni en 1962²², para distinguir el conjunto de lutitas lodosas, areniscas finas y calizas lumaquéllicas, comprendidas entre el contacto superior de Une y la base de la formación Areniscas del grupo Guadalupe²³.

Foto 3. Formación Chipaque.



Edad / Época: Cenomaniano turoniano coniaciano / Cretácico superior

La formación Chipaque fue observada al sureste de la cabecera municipal de El Cocuy, por la vía que conduce a Güicán, extendiéndose en dirección sur y este. Esta formación está constituida por areniscas finas, en las que se observan ondulitas y estructuras entrecruzadas de pequeño tamaño (1 a 3 cm de amplitud), y laminaciones oscuras y claras, onduladas. La bioturbación es a menudo muy

²¹ Ob. Cit.

²² Ob. Cit.

²³ Geología de la extremidad sur de la Sierra Nevada del Cocuy y los alrededores de La Salina y Sácama, plancha 153, Chita, pág. 48

intensa. De igual modo, se encontraron varios tipos de huellas, generalmente paralelas a la estratificación (planolites, thalassinoides) y coprolitos que alcanzan hasta 1 cm de longitud. Dichas areniscas tienen una constitución de pequeños granos de cuarzo, de 0,1 a 0,06 mm, subangulares a subredondeados con contactos puntuales (ver foto 3. Formación Chipaque).

En su borde occidental está en contacto con la formación Concentración, sobre la cual reposa de manera discordante, por efecto de una falla inversa, de levantar esta formación, en su borde oriental y suroriental, está cubierta por rocas del cretácico superior, de la formación La Luna, de manera concordante.

3.2.1.4 Formación La Luna (ksl). El término “La Luna Limestone”, fue introducido por Garner en 1926²⁴, para designar la sucesión de shale calcáreo, negro, fosilífero, con concreciones de calizas negras. Dicho nombre proviene de la quebrada La Luna, en la sierra de Perijá, Estado de Zulia, en Venezuela. Posteriormente, Hedberg y Sass, en 1937²⁵ hicieron una descripción más detallada y la definieron como “La Luna Formation”²⁶.

Foto 4. Formación La Luna.



Edad / Época: Santoniano campaniano / Cretácico superior

²⁴ Ob. Cit.

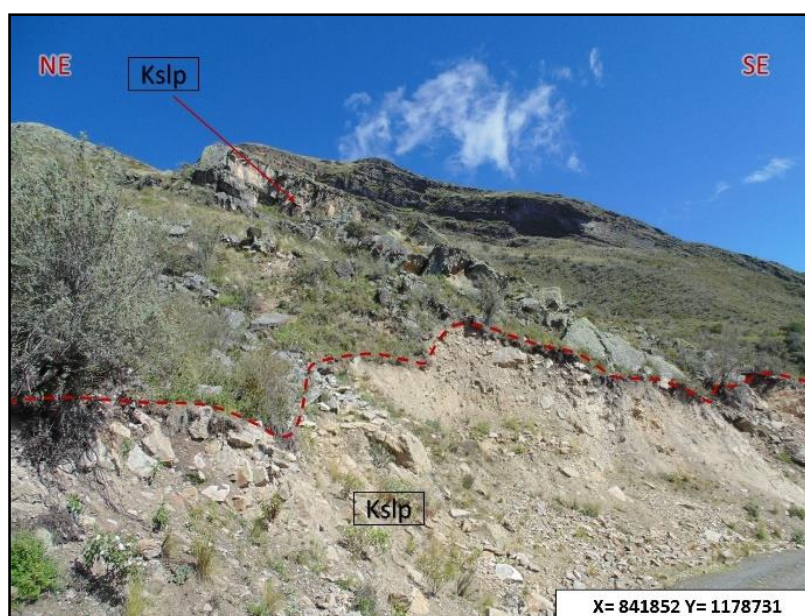
²⁵ Ob. Cit.

²⁶ Geología de la extremidad sur de la Sierra Nevada del Cocuy y los alrededores de La Salina y Sácama, plancha 153, Chita, 58.

La formación La Luna aflora al noroeste del caserío Cusagui, en el sector La Hoyada; está compuesta por limolitas calcáreas, gris claras a oscuras, en capas delgadas a medias, con intercalaciones frecuentes de lodolitas grises oscuras a negras, en capas delgadas fisiles, y esporádicas intercalaciones de calizas grises oscuras en capas medias (ver foto 4. Formación La Luna). En su borde suroccidental está en contacto con la formación Chipaque, sobre la cual reposa de manera concordante, y en sus bordes oriental y nororiental está en contacto con la de la formación La Luna, de manera discordante, por presencia de una falla local, de modo normal.

3.2.1.5 Formación Los Pinos (Kslp). Este nombre fue propuesto por Ulloa, para designar un intervalo de lutitas lodosas, ubicado entre el tope del conjunto superior de calizas y porcelanitas de la formación La Luna y la base de la formación Arenisca Tierna. Deriva su nombre de la sección tipo que se encuentra cerca al caserío de Los Pinos, al noreste de Socha. En la plancha 153, la formación Los Pinos aflora muy bien en el pico El Cojo, lugar en el que su espesor es de unos 300 metros aproximadamente.

Foto 5. Formación Los Pinos.



Edad / Época: Campaniano maastrichtiano / Cretácico superior

La formación Los Pinos aflora al noroeste del caserío Cusagui, en el sector La Hoyada, la formación está constituida en su mayor porcentaje de lutitas lodosas oscuras, en bancos de 1 a 10 metros de espesor, entre los cuales se intercalan bancos de 5 cm a 1 m de areniscas cuarcíticas, con cemento silíceo. A veces estas areniscas pasan lateralmente a calizas arenosas lumaquéllicas que contienen

abundantes conchas de ostras. Hacia la superficie, la formación de bancos duros se vuelve más frecuente y más gruesa, pero la granulometría fina lo distingue de las areniscas de la formación Arenisca Tierna (Ulloa y Rodríguez, 1979)²⁷ (Ver foto 5. Formación Los Pinos).

3.2.2 Unidades del Terciario Inferior. En esta categoría se identifican las siguientes:

3.2.2.1 Formación Guaduas (tkg). El término fue empleado por primera vez por Hettner en 1892²⁸, para presentar todos los materiales que, en la región de Bogotá, se encuentran por encima del Guadalupe. Posteriormente, Hubach²⁹ restringe el término a categoría de formación, siendo limitado en su parte inferior por la formación Guadalupe Superior, y en su parte superior por la formación Areniscas del Cacho.³⁰

Foto 6. Formación Guaduas.



Edad / Época: Paleoceno / Terciario Inferior

La formación Guaduas se observa al suroeste del municipio de El Cocuy, en el sector Carrizal; está constituida por una alternancia de arcillolitas grises, amarillas o cafés, homogéneas y laminadas, arenitas cuarzosas blancas a amarillentas de

²⁷ Geología de la plancha 172, Paz del Río, pág. 73.

²⁸ Ob. Cit.

²⁹ Ob. Cit.

³⁰ Geología de la extremidad sur de la Sierra Nevada del Cocuy y los alrededores de La Salina y Sácama, plancha 153, Chita, pág. 69.

grano fino a medio, friables e intercalaciones de limolitas silíceas y carbonosas. Fue datada palinológicamente por Van Der Hammen como Maestrichtiano hasta la parte media y como Paleoceno en la parte superior³¹. La secuencia se caracteriza por presentar en su miembro superior mantos de carbón explotables, con espesores que varían entre los 0,6 y 2,5 m. El espesor promedio del conjunto en la zona es de aproximadamente 200 m. El ambiente de depositación, según lo describe Hettner en 1982, es marino litoral a continental (ver foto 6. Formación Guaduas).

En su borde noroccidental está en contacto con la formación Concentración, sobre la cual reposa de manera discordante, debido a una falla local de modo inverso, que genera el contacto, y en su borde suroriental se encuentra cubierta por rocas del terciario, correspondiendo a la formación Areniscas de Socha.

3.2.2.2 Formación Areniscas de Socha (tpars)³². Este nombre es empleado para designar a una gruesa secuencia de areniscas que reposa concordantemente sobre la formación Guaduas, siendo que Alvarado y Sarmiento (1944)³³ la designaron como Socha Inferior. La sección tipo se hace con base en la sección medida en la carretera Corrales-Paz del Río.

Foto 7. Formación Areniscas de Socha.



Edad / Época: Paleoceno / Terciario superior

³¹ Ob. Cit.

³² Geología de la plancha 172, Paz del Río, pág. 83.

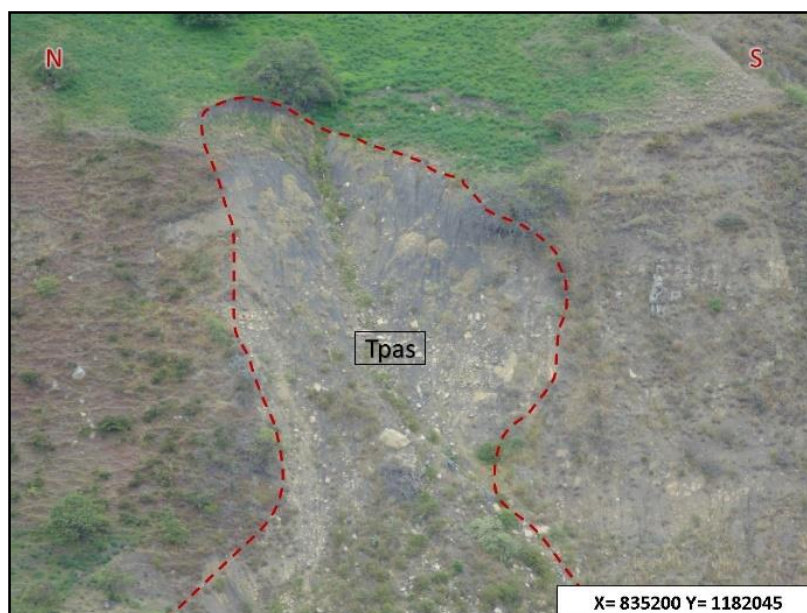
³³ Ob. Cit.

Esta formación aflora al suroeste del municipio de San Mateo, en el sector La Palma; es predominantemente arenosa y está conformada por potentes y masivas capas de arenitas color blanco y amarillo cuarzosas, de grano medio a grueso, friables, bandeadas, con estratificación gradada y cruzada y con algunos niveles centimétricos de guijos subredondeados de 0,5 a 1 cm. En la parte media presenta algunas intercalaciones arcillosas y hacia la parte superior vuelve a ser arenosa, presentando bancos de arenitas blancas y amarillas, a veces oxidadas, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, y algunas intercalaciones arcillosas (Alvarado y Sarmiento, 1944)³⁴ (ver foto 7. Formación Areniscas de Socha).

En su borde occidental descansa concordantemente sobre la formación Guaduas y en su borde oriental está cubierta por rocas del terciario superior, correspondientes a la formación Arcillas de Socha.

3.2.2.3 Formación Arcillas de Socha (Tpas)³⁵. Este nombre se emplea para designar la sucesión estratigráfica entre la formación Areniscas de Socha y la Formación Picacho, derivándose su nombre del Socha Viejo, lugar donde se establece la sección tipo.

Foto 8. Formación Arcillas de Socha.



Edad / Época: Eoceno / Terciario superior

La formación aflora al suroeste del caserío Cusagui, al sur de la loma El Rayo; se trata de un paquete rocoso predominantemente arcillolítico, que ocasionalmente

³⁴ Ob. Cit.

³⁵ Geología de la plancha 172, Paz del Río, pág. 85.

contiene láminas centimétricas de carbón. Litológicamente está compuesta por arenitas amarillas y grises de grano fino a medio. El nivel superior lo conforman arcillolitas abigarradas amarillas, grises y violetas, y presenta niveles de arenitas con estratificación cruzada. El nivel superior lo conforman arcillolitas abigarradas amarillas, grises y violetas, en los que es común encontrar escamas de yeso. El techo de la formación lo constituyen arcillolitas grises y amarillas; se aprecian fracturas rellenas por limonita de color rojizo, de acuerdo con lo descrito por Alvarado y Sarmiento en 1944³⁶. (ver foto 8. Formación Arcillas de Socha).

3.2.2.4 Formación Picacho (Tep). El nombre de la formación fue dado por Alvarado y Sarmiento en 1944³⁷, para designar un potente conjunto de areniscas que descansa sobre la formación Socha Superior (Formación Arcillas de Socha), siendo establecida su localidad tipo en el cerro Picacho, a 1,5 km al noreste de Paz del Río.

Esta formación aflora al suroeste del municipio de El Cocuy, en el cerro Mahona. Es un conjunto de arenitas de color rojizo a marrón, con granulometría variable entre arenita y arenita conglomerática, friable, que presenta zonas guijosas a través de toda la Formación. Los guijos son de cuarzo blanco, redondeados y de forma más o menos alargada. A esta unidad corresponde una litología variada, pues hacia la parte sur del sector es arenítica, con niveles conglomeráticos bien definidos, y, a medida que se avanza hacia el norte, se torna arcillolítico, a manera de interdigitación de capas areníticas y lodolíticas (Alvarado y Sarmiento, 1944)³⁸.

3.2.2.5 Formación Concentración (Teco). El nombre y rango de la unidad litoestratigráfica de la formación Concentración fueron dados por Alvarado y Sarmiento (1944)³⁹, siendo ubicada su sección tipo a lo largo del río Soapaga, entre el caserío de Concentración y el puente del Uvo (carretera que comunica a Santa Rosa de Viterbo con Paz del Río y Socha), designando una sucesión de arcillolitas comúnmente yesíferas y areniscas, de grano fino a grueso, con estratos de hierro oolítico, que descansa sobre la formación Picacho (ver foto 9. Formación Concentración).

Esta formación aflora al sureste del municipio de San Mateo, en el sector Plan del Tablón. Puede dividirse en varios conjuntos: el primero, siendo inferior, constituido por una sucesión de capas de arcillolitas grises oscuras y negras, que por efectos de meteorización presenta coloraciones amarillentas y rojizas, estratificadas en capas muy delgadas, con varios estratos de hierro oolítico. Hacia la parte inferior y media, se encuentran frecuentes intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino a medio, localmente grueso, con matriz arcillosa, presentando estratificación de capas

³⁶ Ob. Cit.

³⁷ Ob. Cit.

³⁸ Geología de la plancha 172, Paz del Río, pág. 90.

³⁹ Ob. Cit.

delgadas a muy gruesas. Hacia la parte media, se presenta un conjunto predominante de arcillas grises claras que, por efectos de meteorización, dan tonalidades amarillentas y rojizas, con varias capas de hierro limolítico y algunas intercalaciones de cuarzoarenitas de grano fino, de color gris amarillento, friable. Finalmente, hacia la parte superior, se presenta una sucesión de arcillolitas grises claras a oscuras que, por efectos de la meteorización, presentan una coloración amarillenta y rojiza, presentándose estratificación en capas, con intercalaciones de hierro limolítico. (Alvarado y Sarmiento, 1944).⁴⁰

Foto 9. Formación Concentración.



Edad / Época: Eoceno / Terciario superior

3.2.3 Unidades cuaternarias sin consolidar. Estas unidades corresponden a depósitos sedimentarios recientes, acumulados posiblemente en el pleistoceno y holoceno, se encuentran cubriendo concordantemente las rocas del terciario y, en algunos sectores del área de estudio, rocas del cretáceo de manera discordante. Los depósitos más importantes presentes en la zona de estudio son cuaternario aluvial, cuaternario glacial sin diferenciar, morrenas antiguas parcialmente cubiertas por vegetación, morrenas recientes sin vegetación, coluviones y aluviones recientes, así:

3.2.4 Depósitos cuaternarios. Se definen los siguientes:

- a) Los **aluviales (Qal)** son depósitos que se caracterizan por acumulación de material de arrastre, conglomerados de tamaño y composición variados. Los

⁴⁰ Geología de la plancha 172, Paz del Río, pág. 90.

fragmentos son subredondeados y subesféricos, por lo que su composición corresponde a sedimentos muy sueltos de material fino, tipo arenas, arcillas y limos, conjuntamente con material grueso tipo cantos, guijas y guijarros de constitución heterogénea.⁴¹ Este tipo de depósito se evidencia en el sector cortadera;

- b) Sobre los **glaciares sin diferenciar (Qgl)**, son zonas representadas por depósitos glaciares, sin formas morfológicas muy particulares. Probablemente son morrenas de fondo, laterales y frontales completamente destruidas⁴²;
- c) Las **morrenas antiguas (Qma)** son parcial o completamente cubiertas por vegetación y mucho más destruidas por la erosión que las recientes. Debido a la vegetación, aparece una serie de colores más oscuros sobre las fotografías aéreas, que forman diferentes cordones que se extienden entre el límite de las morrenas recientes y una altura de 3.000 metros aproximadamente⁴³;
- d) Las **morrenas recientes (Qmr)**, situadas a alturas de 4.400 metros en promedio, con partes frontales que pueden descender hasta los 4.300 metros en ciertos valles, son de color claro, sin vegetación presente, con una morfología levemente afectada por la erosión⁴⁴;
- e) Los **coluviones o derrumbes (Qc)**, denominación bajo la cual se cartografiaron las zonas de derrumbes y deslizamientos observados en los flancos de los valles, presentan zonas recientemente movidas y otras más antiguas sobre las cuales crecen ahora bosques con árboles de gran tamaño⁴⁵;
- f) Los **aluviones recientes (Qfg)**, de composición mixta, están conformados por materiales producto de la desintegración de rocas más antiguas y la acción abrasiva de antiguos glaciares existentes en estos lugares, como bloques, cantos, guijas y guijarros, dentro de una matriz areno-arcillosa. El terreno donde se encuentra la cabecera de Boavita puede corresponder a los restos de una antigua morrena que se corrió un poco al oriente de La Uvita. Se puede evidenciar también en la vereda Ochaca un depósito que cubrió parte de la antigua morrena y, del mismo modo, se evidencia hacia la quebrada Las Minas, afluente de la quebrada El Cabuyal, donde consta de bloques grandes, caídos desde zonas más altas, gracias a la gravedad y a deslizamientos que se presentan, y

⁴¹ Recursos carboníferos área Sátiva-Boavita-San Mateo, pág. 25.

⁴² Geología regional de la Sierra Nevada del Cocuy, plancha 137, El Cocuy, pág. 102.

⁴³ Ibídem, pág. 103.

⁴⁴ Ibídem, pág. 102.

⁴⁵ Ibídem, pág. 103.

- g) El **glaciar o neviza** (H) corresponde a las cumbres de la Sierra Nevada, con alturas mayores a 4.700 m, que están casi completamente cubiertas por glaciares y nieves perpetuas, de las cuales emergen unos picos de rocas.⁴⁶

A continuación, se presenta la correlación estratigráfica de las unidades geológicas de la zona (Plancha 153) con las unidades de las planchas 137, 152 y 172 (ver tabla 3. Correlación de unidades estratigráficas, INGEOMINAS), en la que se evidencian las discordancias presentes en el sector, y las formaciones descritas en cada memoria geológica, debido a que fue de vital importancia el análisis de todas las memorias, para una mayor información de la estratigrafía presente en el área de estudio.

Tabla 3. Correlación de unidades estratigráficas, INGEOMINAS.

		INGEOMINAS. Plancha 137 - Cocuy, Fabre Antoine, Osorio Mauricio, Vargas Rodrigo, 1986	INGEOMINAS. Plancha 152 - Soatá, Vargas Rodrigo, Arias Alfonso, Jaramillo Luis, Teliez Noel, 1976	INGEOMINAS. Plancha 153 - Chita, Fabre Antoine, Osorio Mauricio, Angarita Leonidas, Pulido Orlando, 1983	INGEOMINAS. Plancha 172 - Paz de Río, Ulloa Carlos, Guerra Alvaro y Escovar Ricardo, 1998	INGEOMINAS. Este trabajo. Monroy William, Rincón Marco, Ibáñez Ricardo, 2009
Cuaternario	Holoceno	Glaciares, Coluviones, derrumbios	Aluviones	Aluviones recientes	Aluvial	Coluvial - Derrumbios
		Morrenas recientes	Coluviones	Coluviones y derrumbios	Coluvial	Aluvial - Terrazas
	Pleistoceno	Morrenas, Terrazas, Aluviones	Terrazas	Aluviones sin diferenciar	Glacial	Fluvio glacial
Cenozoico	Plioceno	discontinuidad		discontinuidad	discontinuidad	discontinuidad
	Mioceno					
	Oligoceno	concentración	Carbonera	concentración	concentración	concentración
	Eoceno	Picacho	Mirador	Picacho	Picacho	Picacho
		socha superior	Los Cuervos	socha superior	socha superior	socha superior
	Paleoceno	socha inferior	Barco	socha inferior	socha inferior	socha inferior
Cretácico Superior	Guaduas	Guaduas	Colón - Mito Juan	Guaduas	Guaduas	Guaduas - Colón-Mito Juan
	Maastrichtiano	Arenisca Tierra	Colón - Mito Juan	Arenisca Tierra	Arenisca Tierra	Arenisca Tierra
	Campaniano	Los Pinos	La Luna	Los Pinos	Los Pinos	Los Pinos
	Santoniano		La Luna			
	Coniaciano	Chipaque o Capacho	Capacho	La Luna	La Luna - Pácoros	La Luna
	Turoniano					
	Cenomaniano	Una - Aguardiente	Aguardiente	Chipaque	Chipaque	Chipaque - Capacho
	Albiano	Tibó - Mercedes	Tibó - Mercedes	Una - Aguardiente	Una (Aguardiente)	Una - Aguardiente
	Aptiano			Tibó - Mercedes		Tibó - Mercedes
	Barremiano			Arenisca Las Juntas	Tibúsona (Tibú Mercedes)	
Cretácico Inferior	Hauteriviense			Lutitas de Macanal	Arenisca Las Juntas	
	Valanginiense				Lutitas de Macanal	
	Berriasiense					
	Jurásico		Girón	Pre Cretácico indiferenciado	Rusia	Girón
	Triásico		Montebiel		Montebiel	
	Pérmico		Cacho	Paleozoico de Río Nevado	Cacho	
	Carbonífero		Floresta		Floresta	
	Devónico		Pre Devónico		Tibet	
Paleozoico	Silúrico		Ortonels		discontinuidad	
	Ordovícico		Sigona			

Fuente: INGEOMINAS: Geología estructural.

En la zona de estudio se presentan tres tipos de estructuras geológicas, que se componen de anticlinales y sinclinales al lado este, siendo producto de las fuerzas compresivas generadas en la zona y el material componente de las formaciones que permite su deformación.

⁴⁶ Ibídem

Se encuentra la estructura sinclinal en el sector Cerro Mahoma, presentando las unidades estratigráficas correspondientes a la formación Concentración (Teco), Picacho (Tep) y Arcillas de Socha (Tpas), que son interceptadas por una falla de orden inverso al norte y sur, aflorando la formación Guaduas (Tkg).

Hacia el sureste del municipio de El Cocuy se presentan dos estructuras sinclinales y una anticlinal en los sectores del cerro El Tablón y el alto El Arbolito, presentando las unidades estratigráficas correspondientes a la formación La Luna (Ksl) y la formación Chipaque (Ksc).

Al este del municipio de El Cocuy se presenta una secuencia constituida de una estructura anticlinal, seguida de una estructura sinclinal, presentando la formación (Kia), en contacto discordante con un depósito de morrena antigua.

Hacia el oeste del caserío Cusagui se observa una estructura volcada, debido a los esfuerzos compresionales en esta área, que fue atravesada en su eje por la falla de Monserrate, siendo esta de orden inverso, levantando las formaciones Chipaque y la Luna, sobre las formaciones Guaduas, Areniscas de Socha y Arcillas de Socha. Posteriormente las formaciones consecutivas fueron erodadas, dando como resultado media estructura, delimitada por la falla enunciada anteriormente.

4. VARIABLES MORFOMÉTRICAS Y MORFODINÁMICA⁴⁷

4.1 MORFOMETRÍA

4.1.1 Variable pendientes. La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno, en cualquier punto, con respecto a la horizontal, siendo caracterizada como mínimo valor 0° y máximo 90°, o en porcentaje, ocasionalmente, siendo directamente relacionado con los movimientos en masa. Se presenta una relación directamente proporcional entre el aumento del ángulo de inclinación con respecto a la probabilidad de generación de movimientos en masa.

El proceso metodológico para la obtención de mapas de pendientes requiere del modelo de elevación digital (DEM) y del modelo de sombras (Hillshade) del área de estudio.

Posteriormente, se selecciona el modelo de elevación y se genera un modelo de pendientes a partir de éste, con la función *slope*.

El resultado obtenido se divide en cinco (5) clases, basándose en la caracterización propuesta en el “Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, a escala 1:100.000, (ver tabla 4. Tabla de susceptibilidad de la pendiente, INGEOMINAS, 2011, a continuación):

Tabla 4. Tabla de susceptibilidad de la pendiente. INGEOMINAS 2011.

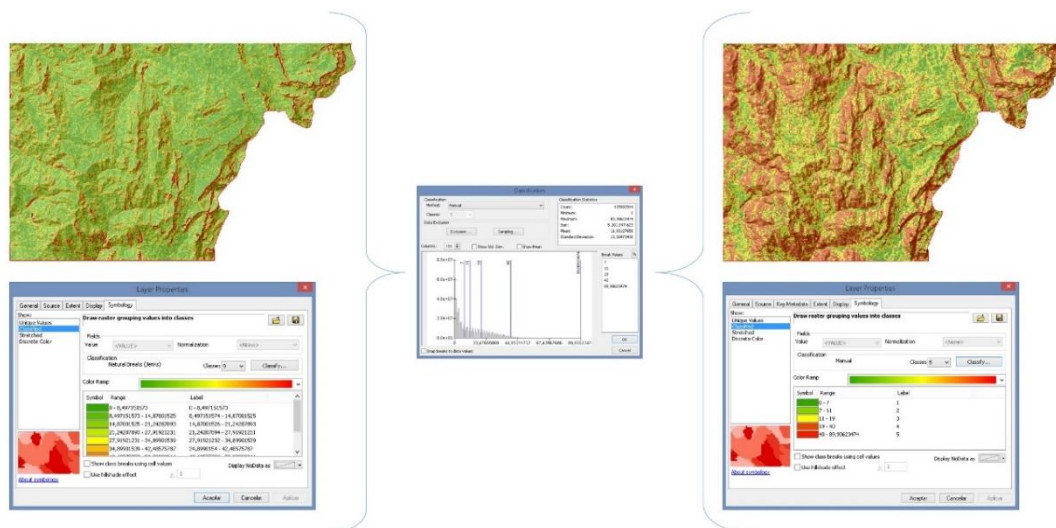
CLASIF.	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD	VALORES
1	Plana a suavemente inclinada	Muy baja	0 - 7
2	Inclinada	Baja	7 – 11
3	Muy inclinada	Media	11 – 19
4	Abrupta	Alta	19 – 40
5	Escarpada	Muy alta	40 – máx. valor.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Al reclasificarlo, se debe obtener un mapa con la serie de coloraciones de verde a rojo, en orden ascendente, en el que se observa el grado de inclinación y susceptibilidad de cada zona, categorizada en las cinco clases anteriormente mencionadas. (ver figura 11. Reclasificación del mapa de pendientes del área de estudio)

⁴⁷ Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000, pág. 51.

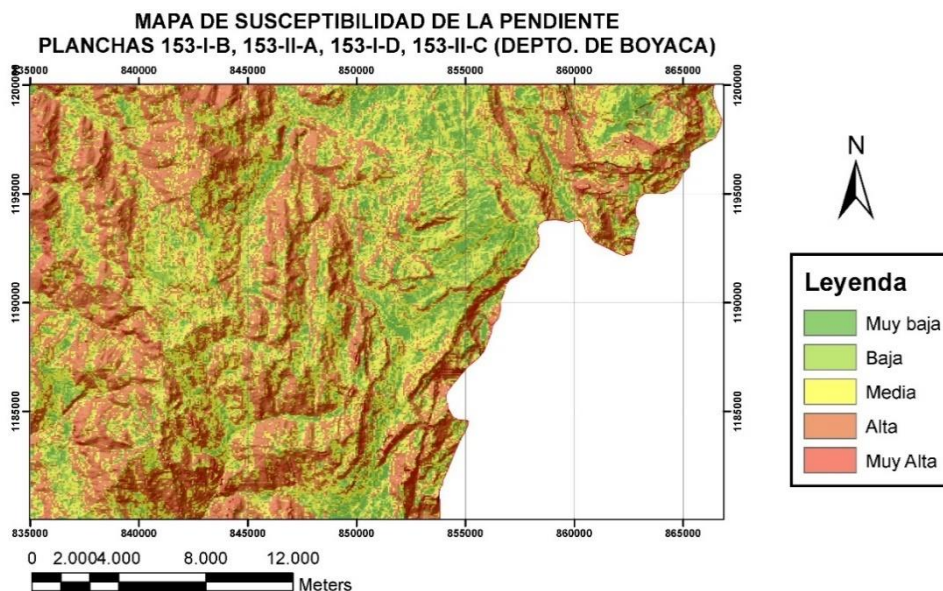
Figura 11. Reclasificación del mapa de pendientes del área de estudio.



Fuente: el autor.

Como resultado final se obtiene un mapa, sectorizado por susceptibilidad de la pendiente (ver figura 12. Mapa de susceptibilidad de la pendiente), partiendo desde muy baja hasta muy alta, dividida en cinco clases, de manera ascendente, siendo cero (0) equivalente a muy baja y cinco (5) tomada como muy alta.

Figura 12. Mapa de susceptibilidad de la pendiente.



Fuente: el autor.

4.1.2 Variables de rugosidad. La rugosidad del terreno es definida como la variación de la pendiente de un área, presentando la desviación del vector normal a la superficie en cada celda.

Siendo 1 tomado como valor de rugosidad nula, los valores numéricos se van haciendo menores al aumentar la dispersión de los vectores (aumenta su rugosidad).

La rugosidad define bien los límites de las formas, como laderas en valles, crestas y límites de taludes. Los movimientos en masa se relacionan con laderas de elevada rugosidad, pues son los más propensos, debido a los cambios sucesivos de pendientes, que favorecen una mayor infiltración del agua en el terreno, generando una mayor inestabilidad del mismo.

El proceso metodológico para la obtención del mapa de rugosidad requiere del modelo de elevación digital (DEM), del modelo de sombras (Hillshade) y de la extensión *Terrain Ruggedness* (VRM), compatible con los softwares de Arcgis V. 9.3 hasta 10.2.2. Se activa la extensión *Ruggedness* y se incluye el modelo de elevación digital (DEM) en ella, dejando como valor 3, debido a que la función matemática exige que se implementen valores impares. Luego se clasifica de acuerdo con áreas, siendo el valor más pequeño para rugosidad de áreas pequeñas, y valores grandes, como 21, para rugosidad de áreas mayores. La variable es inversamente proporcional, debido a que, a menor valor, es mayor su precisión. Obtenido el resultado, se genera una clasificación al atributo de rugosidad equivalente a 5 clases, conformadas en la siguiente tabla (ver tabla 5. Valores de calificación susceptibilidad de la rugosidad).

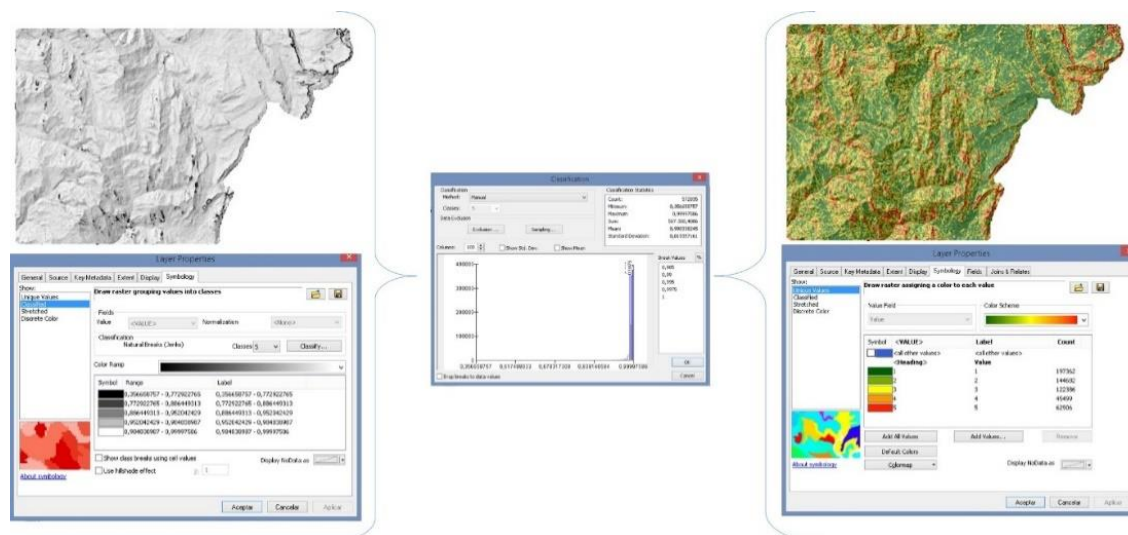
Tabla 5. Valores de calificación susceptibilidad de la rugosidad.

VALORES	CLASIF.	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
1	1	Rugosidad muy baja o nula	Muy baja
0,9975	2	Rugosidad baja	Baja
0,995	3	Rugosidad media	Media
0,99	4	Rugosidad alta	Alta
0,985	5	Rugosidad muy alta	Muy alta

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Al reclasificarlo, se debe obtener un mapa con la serie de coloraciones de verde a rojo, en orden ascendente, en el que se observará el grado de rugosidad y susceptibilidad de cada zona, categorizada en las cinco clases anteriormente mencionadas. (ver figura 13. Reclasificación del mapa de rugosidad del área de estudio).

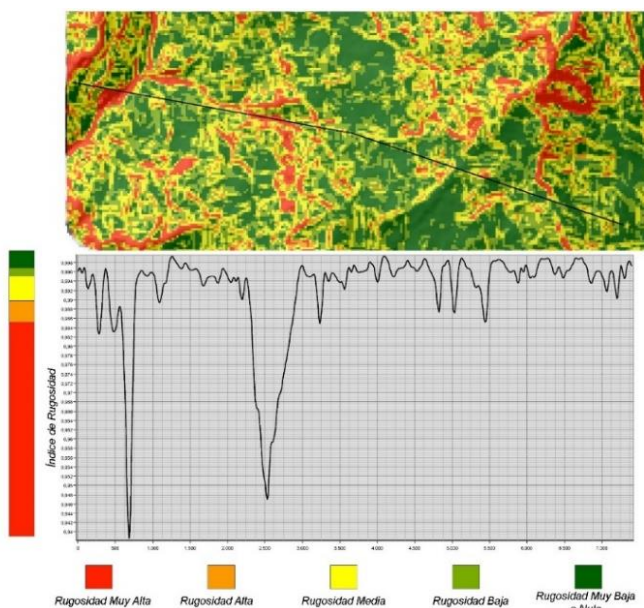
Figura 13. Reclasificación del mapa de rugosidad del área de estudio.



Fuente: el autor.

Como resultado final, se obtiene un mapa, sectorizado por susceptibilidad, partiendo desde muy baja a muy alta, dividida en cinco clases. Se puede observar a continuación un perfil de rugosidad donde ésta se hace mayor en las zonas de tonalidad roja (ver figura 14. Perfil de rugosidad suroeste del caserío Cusagui) y descende en las regiones de coloración amarilla a verde, siendo relativamente uniforme.

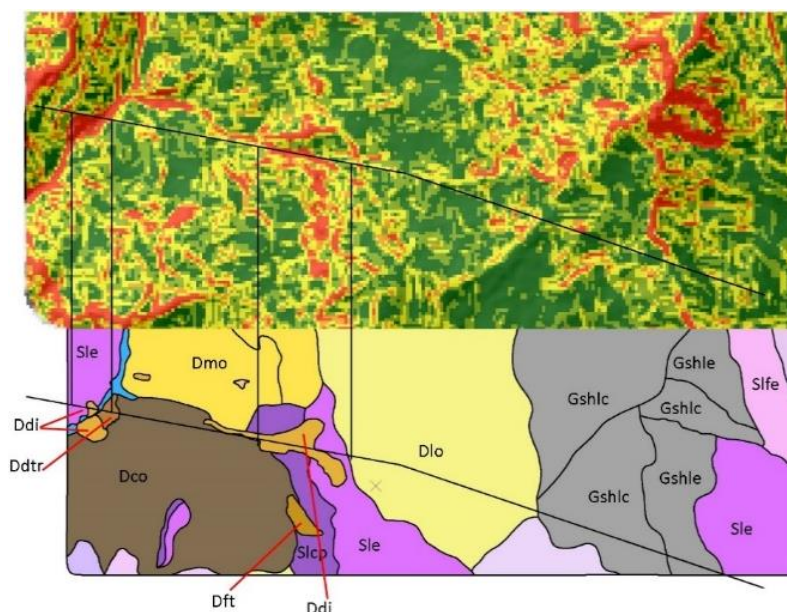
Figura 14. Perfil de rugosidad suroeste del caserío Cusagui.



Fuente: el autor.

Este perfil se localiza entre las coordenadas (N,E) (834529, 1181854, 841832, 1179536) y se observa que el perfil de rugosidad atraviesa distintas unidades geomorfológicas, entre las cuales se encuentran dos sectores distintos, con presencia de cuatro movimientos en masa, clasificados como Ddi, Ddtr y Dft (Cono de deslizamiento indiferenciado, Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional y Cono o lóbulo de flujo indiferenciado, respectivamente), en los que los valores de rugosidad, según la clasificación propuesta anteriormente, se catalogan como de “muy alta rugosidad”, indicando que las zonas de mayor valor son específicamente las zonas donde se están presentando los movimientos en masa. (ver figura 15. Comparativa entre valores de rugosidad y geoformas presentes).

Figura 15. Comparativa entre valores de rugosidad y geoformas presentes.



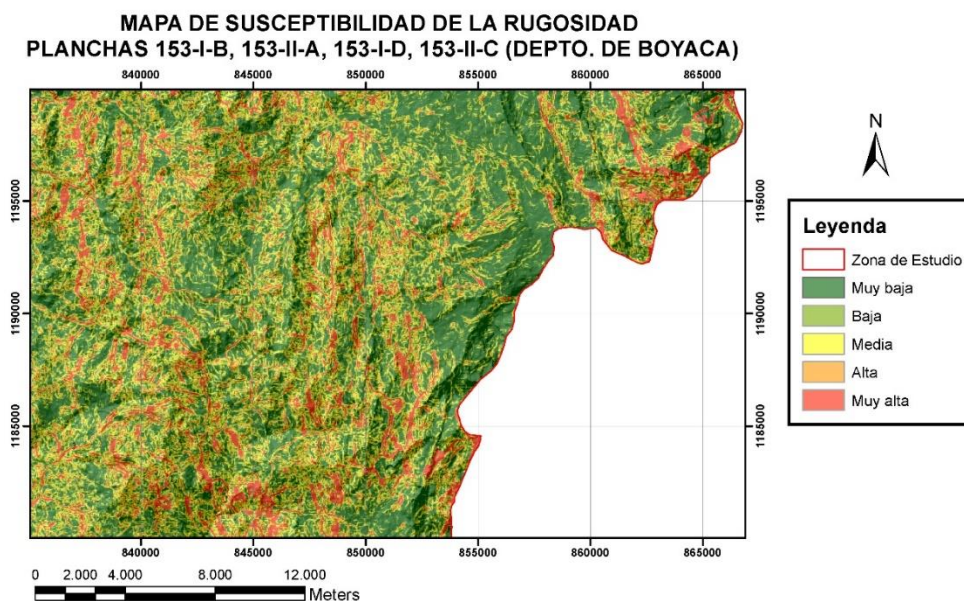
Fuente: el autor.

Se obtiene un mapa respectivo a la susceptibilidad de la rugosidad (ver figura 16. Mapa de susceptibilidad según valores de rugosidad, página siguiente), en el que se indican, en coloración verde, las zonas menos susceptibles de verse afectadas por la generación de movimientos en masa, debido a que presentan una baja rugosidad, hasta la tonalidad roja, siendo tomada para las zonas más susceptibles a presentar movimientos en masa, por sus altos valores de rugosidad.

4.1.3 Variable acuenca. El atributo definido como *acuenca* corresponde a la superficie de la cuenca, ubicada aguas arriba de la celda, donde la sumatoria de todas las celdas correspondientes termina vertida en una celda determinada, denominándose “cuenca acumulada”. Esta variable es derivada, principalmente del

modelo de elevación digital (DEM), siendo éste su principal y único insumo necesario.

Figura 16. Mapa de susceptibilidad según valores de rugosidad.



Fuente: el autor.

El área proporcionada a la cuenca se relaciona directamente con la cantidad de agua capaz de recoger e infiltrar en un terreno, donde se presenta una relación directamente proporcional entre la superficie de agua infiltrada con respecto a la posibilidad de desarrollo de inestabilidad en el terreno, según Neuland (1976)⁴⁸, Hatano (1976)⁴⁹, Okimura (1983)⁵⁰ y Oyagi (1984)⁵¹.

4.1.3.1 Proceso metodológico para la obtención del atributo acuenca. Basados en el concepto de Santacana (2001)⁵², el flujo de las aguas a través de la superficie es desarrollado siempre en la dirección de máxima pendiente, por lo que es más viable identificar la dirección que tomará el flujo. Una vez que se ha determinado la dirección de flujo (*Flow Direction*), es posible determinar cuáles y cuántas celdas fluyen hacia una celda en particular. La sumatoria de estas celdas se denomina flujos acumulados (*Flow Accumulation*). Los valores de los flujos acumulados, multiplicados por el área de pixel, genera la variable acuenca, que es igual al área de la cuenca (ver figura 17. Obtención de la variable Acuenca).

⁴⁸ Ob. Cit.

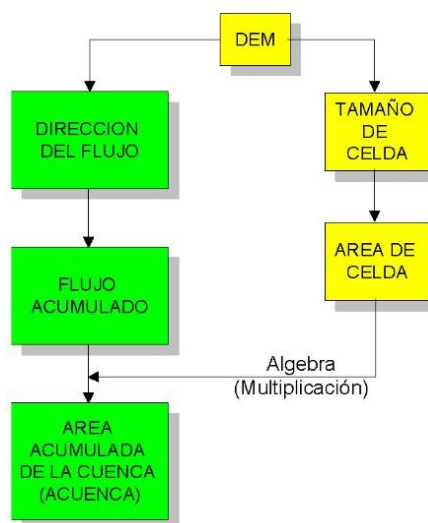
⁴⁹ Ob. Cit.

⁵⁰ Ob. Cit.

⁵¹ Ob. Cit.

⁵² Ob. Cit.

Figura 17. Obtención de la variable acuenca.

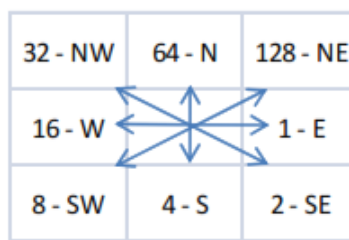


$$Acuenca = Flow_Acc \times AreaCelda$$

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

4.1.3.2 Dirección de flujo (Flow Direction). Las claves del modelado hidrológico las constituye principalmente la determinación del flujo en cualquier punto de una cuenca, lo que es igual a la dirección del flujo en cualquier celda de la cuenca. El proceso consiste en determinar la dirección de flujo, mediante la dirección de máxima pendiente debajo de cada celda. Existen ocho direcciones de salida, que son relacionadas con las ocho celdas adyacentes a la misma, en las que puede ir el flujo. Este enfoque es denominado como “el modelo de flujo de ocho direcciones, (D8)”, cuya idea, representada por Jenson and Domingue (1988)⁵³ se presenta en el siguiente esquema (ver figura 18. Cálculo de dirección de flujo (Flow Direction)).

Figura 18. Cálculo de dirección de flujo (Flow Direction)



$$Flow_Dir = FlowDirection (DEM)$$

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

⁵³ Ob. Cit.

Para hacer este proceso se necesita únicamente el modelo de elevación digital (DEM), al que se le hace una limpieza y llenado de vacíos, mediante la opción “Fill”, siendo una herramienta del Software ArcGis 10.2.2.

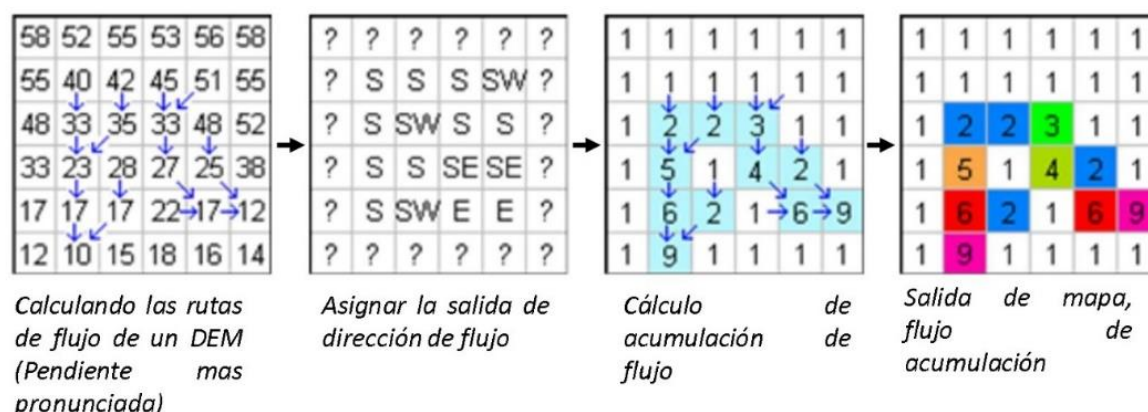
Posteriormente, se pasa por la herramienta *Flow Direction*, del programa anteriormente mencionado, y se llenan los campos requeridos, para obtener el archivo *raster* en función de la dirección de flujo.

4.1.3.3 Flujos acumulados (*Flow Accumulation*). Este aspecto constituye el valor acumulado en una celda determinada, como resultado de todas las celdas que fluyen en la pendiente hacia abajo en ella. De este modo, es posible conocer de manera rápida la cantidad de agua que puede recibir una determinada celda.

Con el cálculo de flujos acumulados se permite determinar la cantidad de agua de lluvia que puede fluir por una celda dada, asumiendo que toda el agua se convierte en flujo superficial, por lo que no se presentarán pérdidas por infiltración, evapotranspiración o cualquier otro fenómeno. Este tipo de flujo representa las zonas donde hay más cantidad de agua fluyendo.

Las zonas más oscuras representan los lugares donde hay mayor flujo de agua, lo que coincide con ríos y quebradas. El proceso de cálculo de flujos acumulados se representa gráficamente (ver figura 19. modelo de flujos acumulados (*Flow Accumulation*)).

Figura 19. modelo de flujos acumulados (*Flow Accumulation*).



$$Flow_Acc = Flow\ Accumulation\ (Flow_Dir)$$

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

El resultado obtenido anteriormente se lleva a la herramienta *Flow Accumulation*, que nos da el valor de acumulación para la cuenca, partiendo de las direcciones de flujo obtenidas. Este resultado se multiplica por el área de celda respectivo al modelo de

elevación digital (DEM), (30 m x 30 m) siendo el área de celda correspondiente a 900 m². Como resultado se obtiene el atributo de *acuena*, que debe ser reclasificado (ver tabla 6. Clasificación de la susceptibilidad del atributo Acuena).

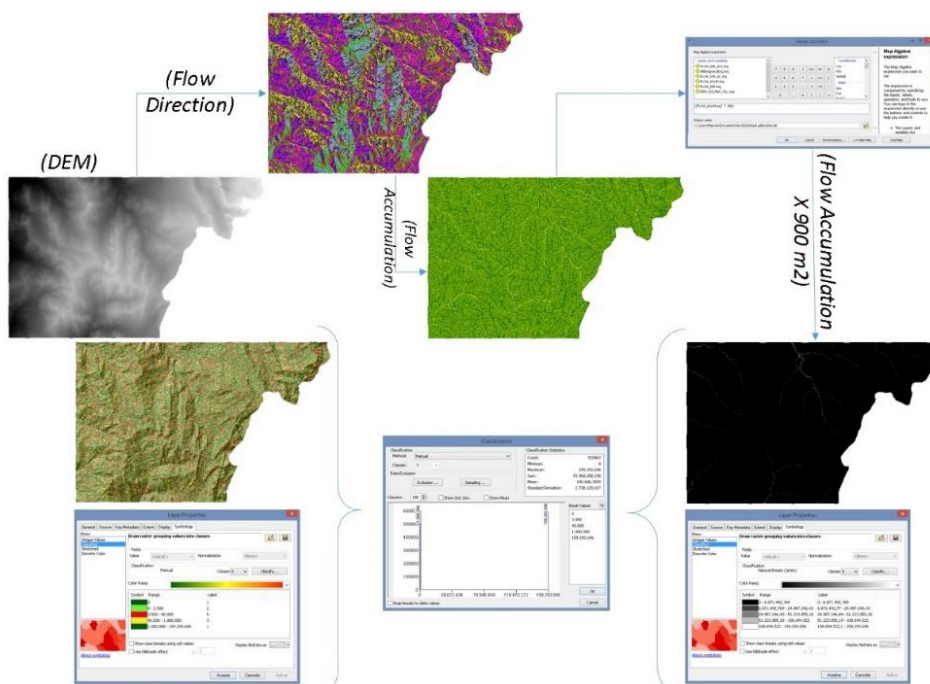
Tabla 6. Clasificación de la susceptibilidad del atributo acuena.

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	SUSCEPTIBILIDAD
1	Divisoria de aguas o lomos	Muy Baja
2	Escorrentía lenta	Baja
5	Flujo acumulado	Muy Alta
3	Drenaje no permanente	Media
1	Quebradas, ríos	Muy Baja

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

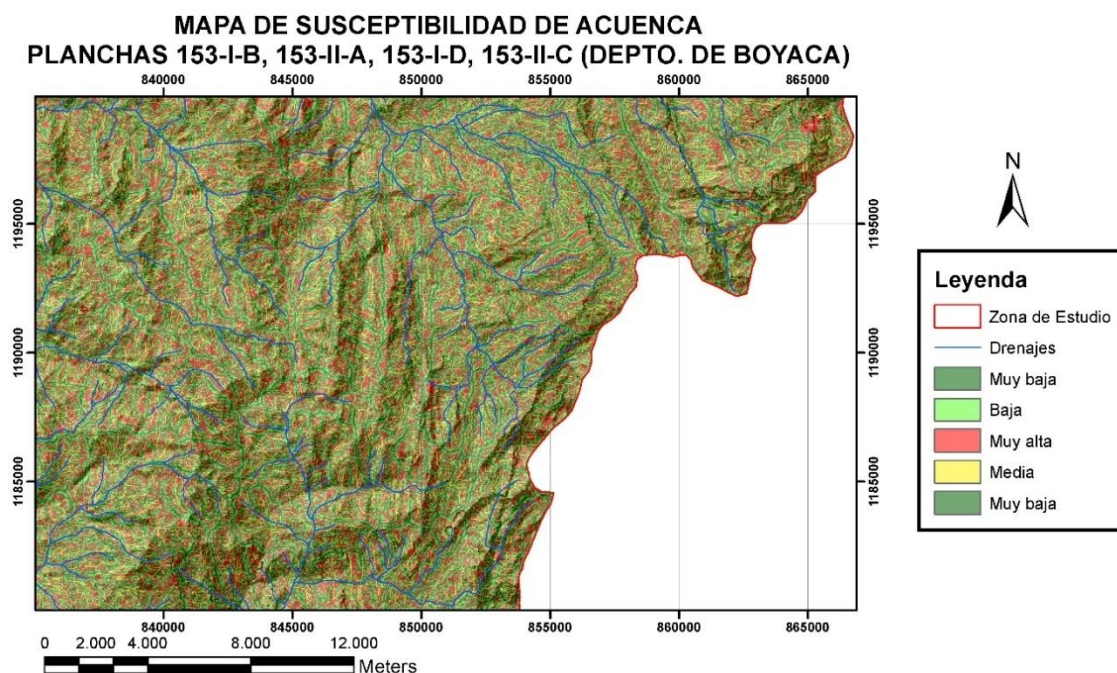
A continuación, se muestra de manera gráfica el proceso para la obtención de la variable acuena, que fue enunciado anteriormente, para ser desarrollado mediante el software ArcGis, en versiones superiores a 10.1. (ver figura 20. Obtención del atributo acuena), siendo obtenido, como producto final, el mapa de susceptibilidad de la variable acuena, que -de ser superpuesto con los drenajes de la zona-, debe ser concordante con los valores de mayor susceptibilidad. (ver figura 21. Mapa de susceptibilidad para la variable acuena).

Figura 20. Obtención del atributo acuena.



Fuente: el autor.

Figura 21. Mapa de susceptibilidad para la variable acuenca.



Fuente: el autor.

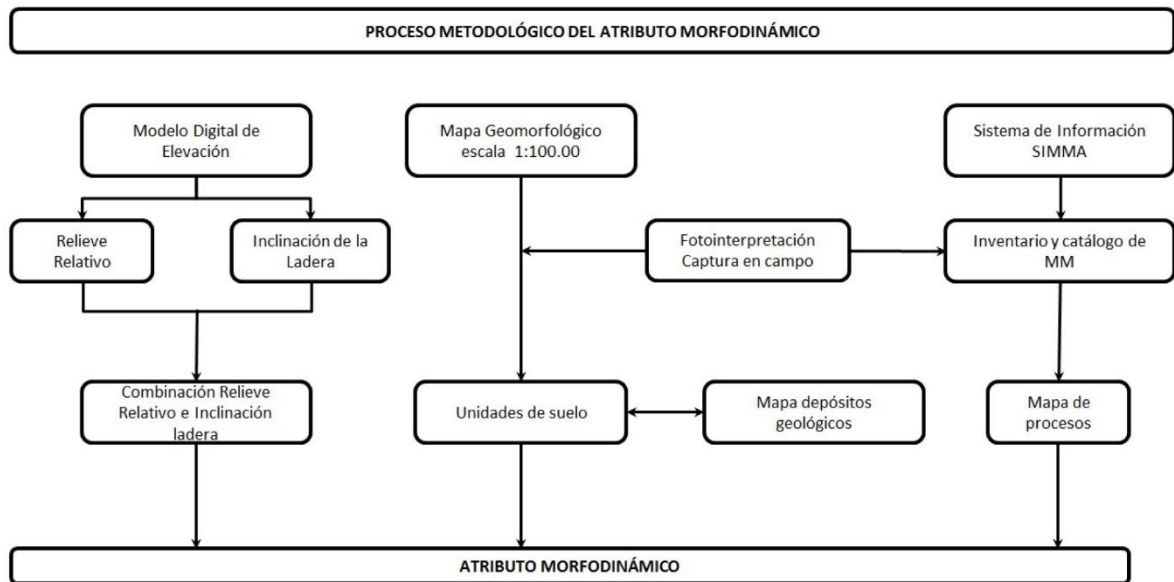
4.2 VARIABLE MORFODINÁMICA

En el proceso de generación del atributo correspondiente a la variable morfodinámica, se genera la agrupación de tres componentes: las variables geométricas derivadas del DEM (combinación de relieve relativo e índice de ladera), la representación de los suelos transportados, vistos como geoforma (unidades de suelo) y el inventario de procesos registrado en campo (mapa de procesos). Producto de la suma de estos tres componentes, se genera un valor promedio.

A través de la variable morfodinámica se obtiene la distribución espacial de los movimientos en masa y el comportamiento del relieve asociado a las características del material.

4.2.1 Generación del atributo morfodinámico. La finalidad de este proceso, es la obtención directa del atributo morfodinámico, que consiste directamente en la obtención gráfica y localizada del uso de suelo y susceptibilidad del terreno en determinadas áreas, clasificándolas en escala de susceptibilidad de 1 a 5, siendo 1 el valor más bajo de susceptibilidad para dicha área y 5 el valor máximo (ver figura 22. Obtención del atributo morfodinámico).

Figura 22. Obtención del atributo morfodinámico.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano

4.2.1.1 Atributo de relieve relativo e inclinación de ladera. El relieve relativo (RR) representa la diferencia de altura presentada por la geoforma, desde su parte más elevada hasta su parte más baja, tomando como referencia sólo las alturas correspondientes a la geoforma, por unidad de área, indicando que el relieve relativo (RR) se presenta como la máxima diferencia de altura en un terreno por km².

La inclinación de ladera (IL) representa el ángulo de inclinación de una ladera, y hace referencia al tipo de material que constituye dicha unidad morfológica, pues el resultado de estos dos factores genera un valor de susceptibilidad a la formación de movimientos en masa.

Tomando en consideración que hay algunos materiales que soportan inclinaciones mayores, debido a sus propiedades físicas, se puede asumir que esta relación es directamente proporcional de manera dependiente siempre al material de la unidad.

Para trabajar con este componente de relieve relativo e inclinación de ladera se activa la función *focal* en la caja de herramientas de ArcGis 10.2.2, y se completan los campos correspondientes, dejando como tamaño de celda 30 x 30, debido a que esta es el área del DEM, y se selecciona la opción *Range*. Se reclasifica según la tabla propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (ver tabla 7. Clasificación de relieve relativo).

Tabla 7. Clasificación de relieve relativo

INTERVALO DE ALTURA	DESCRIPCIÓN DEL RELIEVE	RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL	CALRELIE
<50 m	Muy bajo	Materiales muy blandos y erosionables	1
50 - 200 m	Bajo	Blando erosionable	1
200 - 400 m	Moderado	Moderadamente blando y erosión alta	2
400 - 1000 m	Alto	Resistente y erosión moderada	3
1000 - 2500 m	Muy alto	Muy resistente y erosión baja	3
>2500 m	Extremadamente alto	Extremadamente resistente y erosión muy baja	3

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Se obtiene el relieve relativo (RR), que se utiliza más adelante con el resultado de la inclinación de ladera (IL). Posteriormente, se activa la función *Slope* y se llenan los campos respectivos. Finalmente, se reclasifica de acuerdo con la tabla propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (ver tabla 8. Calificación de la Inclinación de Ladera).

Tabla 8. Calificación de la Inclinación de Ladera.

INCLINACIÓN (Grados)			DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	CALINCLI
	<	5	Plana a suavemente inclinada	Muy blanda y muy baja susceptibilidad a MM	1
5	-	10	Inclinada	Blanda y baja MM	1
10	-	15	Muy inclinada	Moderadamente blanda y moderada susceptibilidad a MM	2
15	-	20	Abrupta	Moderadamente resistente y moderada susceptibilidad a MM	2
20	-	30	Muy abrupta	Resistente y alta susceptibilidad a MM	3
30	-	45	Escarpada	Muy resistente y alta susceptibilidad a MM	3
	>	45	Muy escarpada	Extremadamente resistente y alta susceptibilidad a MM	3

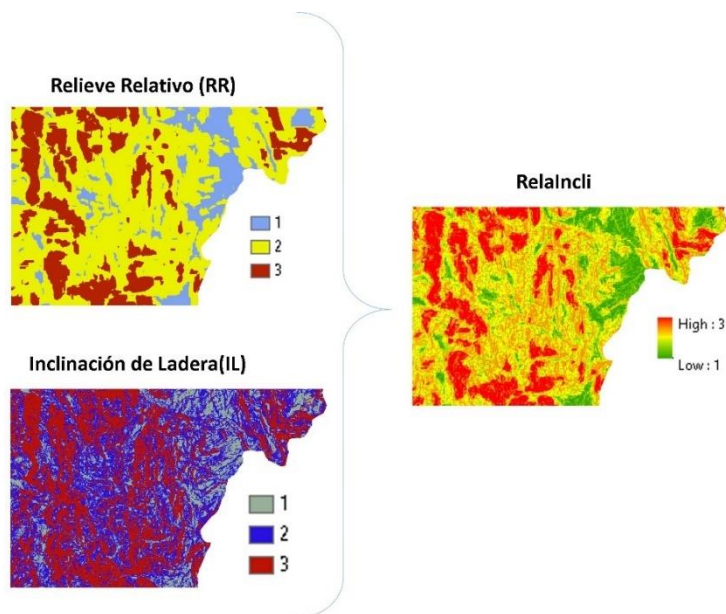
Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Finalmente, se genera una ecuación *Raster*, en la que se le da mayor porcentaje al relieve relativo (RR), siendo de 60%, y un 40% a la inclinación de ladera, operación en la que al resultado lo llamaremos *RelaIncli* (Relativo e Inclinación).

$$RelaIncli = (0,60 \times RR) + (0,40 \times IL)$$

Se obtiene el primer valor, componente del atributo morfodinámico, en el que se presenta la clasificación y unión por valores similares (ver figura 23. Procedimiento RelalIncli).

Figura 23. Procedimiento RelalIncli.



Fuente: el autor.

4.2.1.2 Obteniendo las unidades de suelo. Estos son materiales resultantes de la acción dinámica y procesos geomorfológicos, así como de la intervención de agentes naturales como el agua, el hielo, el viento o la gravedad, entre otros, que llevan estos materiales a los lugares que están ocupando en la actualidad. Estos materiales presentan características como: carácter granular, heterogéneo, no cohesivo, consolidado, compuesto de partículas sólidas y, en ocasiones, con presencia de materia orgánica.

La clasificación de las unidades se hace en función de la susceptibilidad a la generación de movimientos en masa, y tal clasificación es fundamentada principalmente en el ambiente respectivo de formación, tipo de material, posición topográfica y dinámica respectiva.

Las unidades asociadas al ambiente denudacional: volcánico, antrópico y glaciario, presentan las mayores clasificaciones, siendo cinco (5) la calificación que se asocia a los depósitos coluviales, que por sus características son más susceptibles a reactivarse presentando una mayor dinámica.

En cuanto al componente de unidades de suelo, se requiere como insumo principal el mapa geomorfológico, en el que se presentan las unidades desde glacial hasta antropogénica, para generar su clasificación. Cada unidad y ambiente se clasifica con respecto a la tabla propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (ver tabla 9. Calificación de los depósitos).

Tabla 9. Calificación de los depósitos.

Ambiente	Depósito	Geoforma Asociada	Equivalente geológico	Califica
Denudacional	Depósitos coluviales	Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción y Conos de deyección, Glacis de acumulación	Qc/Qd/Q2v/Qt1/Q/Q2c/Qdp/Qco/Qdt/Qac/Qt1/Qgd1/Qgd2	5
	Depósitos de detritos	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de detritos, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de detritos.	Qco/Q/Qdt	4
	Depósitos de tierras	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de tierras, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de tierras	Qco	5
	Depósitos de terraza sobre elevada	Terraza sobreelevada o colgada	Qt1	4
	Depósitos costras ferruginosas o calcáreas	Planos aterrazados o duricostras, Terrazas o mesas calcretas o silicretas	Qcf	1
	Depósitos lodos	Cono o lóbulo de flujo de lodo	Qfl	5
Fluvial y Lagunar	Depósitos de cauce y llanura aluvial	Cauce activo y abandonado, albardones, barras, cuencas de decantación, lagos en media luna, lagunas naturales, meandros abandonados, planicie o llanura de inundación, planicies y deltas lacustrinos, planos anegadizos, planos y artozas lagunares	Qal2/Qac/Qar/Qal/Q2-al/Qalu-Qal/Q2cal/Qo1/Qa/Q2-aldi/Qb/Qall/Q2-alpr/Qlal/Qo2/Q2alh/Q2alca	1
	Depósitos de terrazas aluvial	Terrazas de erosión, terrazas de acumulación subreciente, terrazas de acumulación antigua, terrazas de depositación y escarpes de terraza	Qt/Qt2/Q2t2	2
	Depósitos paudales	Artozas lagunares y planos anegadizos.	Q2m/Q2alp	1
	Depósitos lagunares	Lagos en media luna y meandros abandonados.	Q2l/Ql/Q2l/Qfl/Qlp	1
	Depósitos de abanicos aluviales	Abanicos fluvio-torrenciales, conos de deyección, deltas de desborde natural, deltas lacustrinos y escarpes de abanicos fluviales.	Qab/Q2cal/Qc/Q1ab/Q2g/Q1ab/Qaa/Qap1/Qcal	3
Marino/Costero	Depósitos marino aluviales	Llanuras costeras	Q2mlm (Q2ml)/Qes	2
	Depósitos intermareales	Planos de inundación	Q2mlm (Q2ml)	1
	Sustrato de manglar	Planos y llanuras con vegetación halófila	Q2mlm (Q2ml)/m/Qm	1
	Depósitos de playón	Tómbolo, espigas, barras litorales y playones	Q2mlm (Q2ml)/Q2ib	1
	Depósitos de origen arrecifal	Bajos arrecifales, Isla	Q2mlm (Q2ml)	1,5
	Depósitos de playa y dunas	Abanico de sobrelavado, Lóbulos y planos deltaicos actuales, Complejos de crestas y artozas de playa, Complejo de crestas y artozas de playa (planos de crestas de playa, playas antiguas)	Qp/p/Q2p/Qpl	1,5

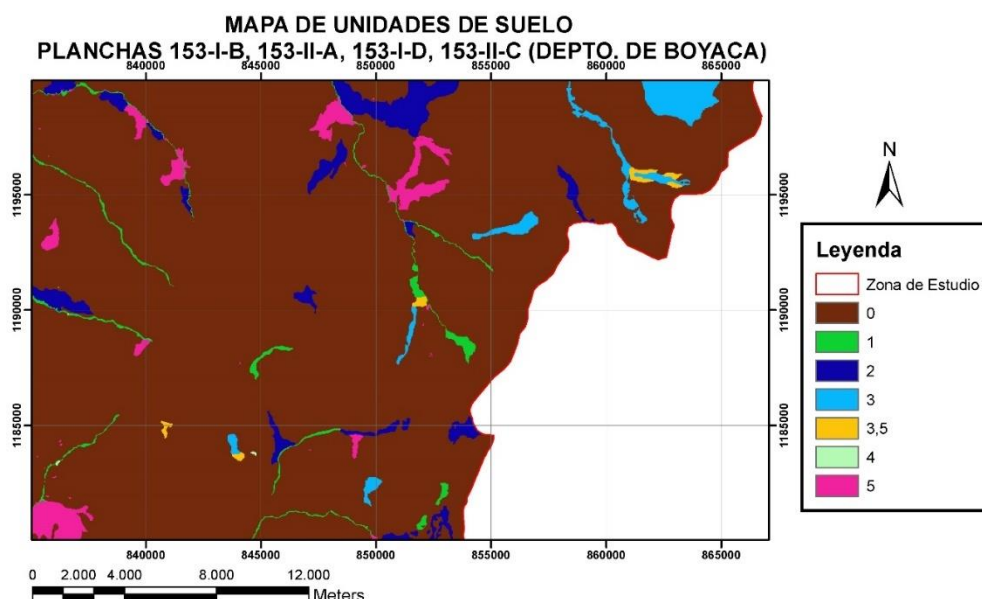
Tabla 9. Calificación de los depósitos.
(Continuación)

Ambiente	Depósito	Geoforma Asociada	Equivalente geológico	Califica
Eólico	Depósito de arenas	Dunas, Dunas antiguas, Dunas Transversales, Barjanes o Barchanes, Dunas Longitudinales, Dunas parabólicas, Dunas costeras sin diferenciar, Campo de dunas remontantes, Campo de dunas de sombra, Mantos de arena eólica	Qe/Q1-ep	2
	Depósito de loees	Mantos de Loess	Qe/Q1-ep	2,5
Volcánico	Depósito de caída piroclástica	Manto de piroclastos	Qvb	5
	Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza	Manto de piroclastos, Flujo piroclástico aterrazado y Escarpe de flujo piroclástico aterrazado	Qc/Qto	4
	Depósito de flujo piroclástico de ceniza y pómez o ignimbrita	Manto de piroclastos, Flujo piroclástico aterrazado y Escarpe de flujo piroclástico aterrazado	Qvb	5
	Depósito de oleada piroclástica	Manto de piroclastos	Qpi	5
	Depósito de avalancha de escombros	Campo de Hummocks	Qfl/Qaecvnh	4
	Depósito de flujo de escombros o <i>lahar</i> o flujo de lodo volcánico	Flujo lahárico aterrazado, Escarpe de flujo lahárico aterrazado y cono lahárico.	Qf/Qfl/Qva/	3
Glacial y periglacial	Depósitos fluvioglaciares/glaciofluviales	Eskers y Kames	Qf/Qmfg/Qg/Qfg/Qmfg	4
	Depósitos glaciolacustres	Planos glaciolacustrinos	Qf/Qg	2
	Depósito glacial till de ablación	Morrenas frontales y laterales	Qf/Qg/Qma/Qm/Qmr/Qmfg	3,5
	Depósito glacial till basal	Morrenas de fondo y morrenas periglaciales.	Qf/Qg	3
Antrópico	Rellenos de basuras o rellenos sanitarios	Rellenos de basuras o rellenos sanitarios		5

Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Se debe transformar a formato *Raster*, debido a que la operación se está haciendo en cálculo de píxeles, que serán evaluados al final del proceso (ver figura 24. Mapa de unidades de suelo)

Figura 24. Mapa de unidades de suelo.



Fuente: el autor.

4.2.1.3 Obteniendo el mapa de procesos. Para agregar al atributo morfodinámico la información del inventario de movimientos en masa, que no corresponde a ninguna geoforma, se debe hacer una clasificación de movimientos en masa, que deben tener la cualidad de ser cartografiados. Por esta razón, se seleccionan los que presenten un radio mayor a 25 m y se les asigna la calificación de susceptibilidad por movimientos en masa de cinco (5) y se agregan al atributo morfogenético como la geoforma “Deslizamientos indiferenciados” (Ddi).

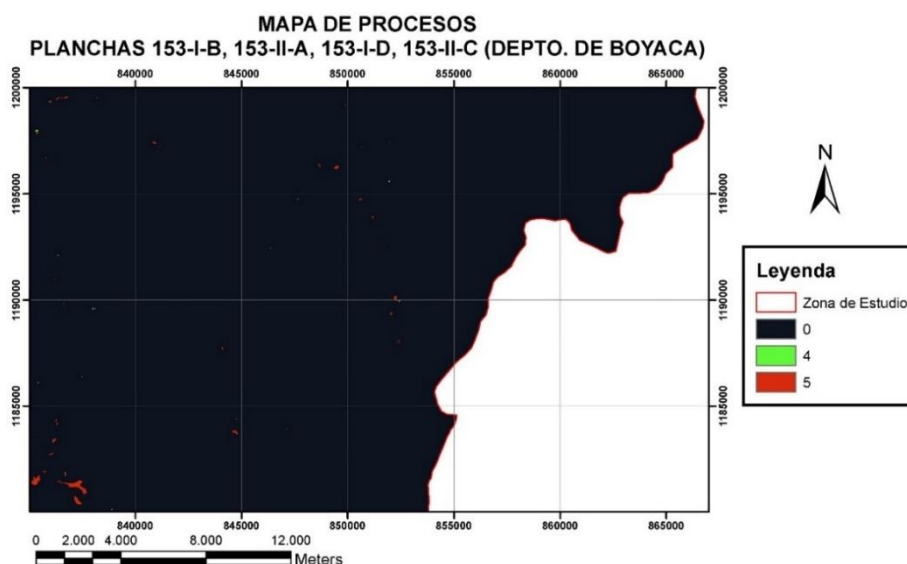
Los movimientos indiferenciados son considerados como movimientos en masa superficiales, de dimensiones reducidas, que pueden ocurrir en unidades respectivas a suelos o roca, y no tienen un equivalente litológico.

El componente mapa de procesos requiere del insumo principal del inventario de movimientos en masa localizados en la zona.

Los movimientos en masa se clasifican con el valor correspondiente a cinco (5), y se deja el área aledaña a ellos dentro de la zona de estudio con el valor respectivo de cero (0).

Posteriormente a esta clasificación, se genera una conversión a formato *Raster*, para continuar la operación de clasificación para el atributo morfodinámico (ver figura 25. Mapa de procesos).

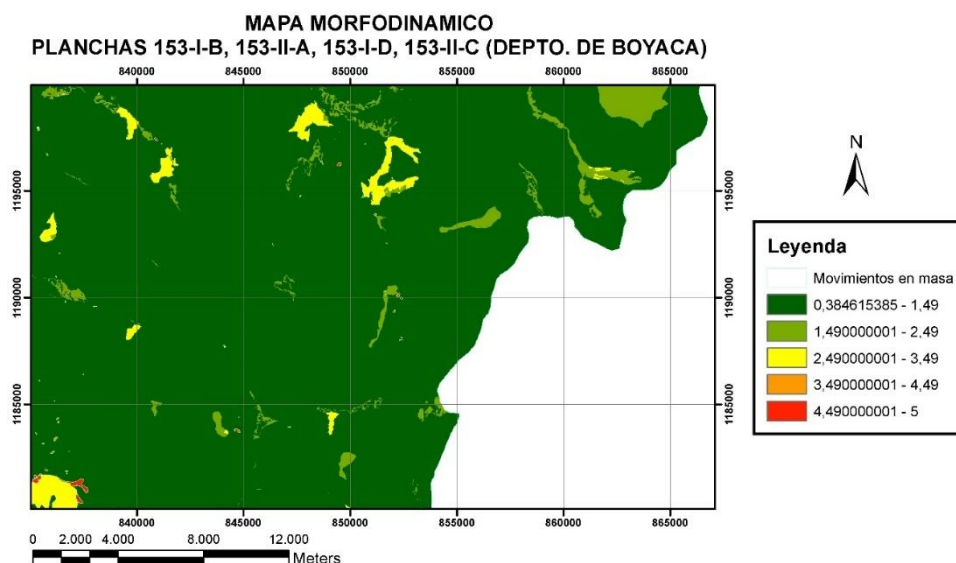
Figura 25. Mapa de procesos.



Fuente: el autor.

Finalmente, al obtener estos tres componentes: la combinación de relieve relativo e inclinación de ladera, las unidades de suelo y el mapa de procesos, se procede a generar una cálculo de pixeles entre ellos, mediante la aplicación *Raster Calculator*, obteniéndose el atributo morfodinámico (ver figura 26. Mapa morfodinámico).

Figura 26. Mapa morfodinámico.



Fuente: el autor.

En el mapa morfodinámico se puede evidenciar que, al generar una comparativa con los mapas de procesos y unidades de suelo, la clasificación arrojada es la siguiente (ver tabla 10. Calificación a partir del mapa morfodinámico).

Tabla 10. Calificación a partir del mapa morfodinámico.

CALIFICACIÓN	UNIDAD CORRESPONDIENTE
0,3846 - 1,49	Demás unidades
1,4900001 - 2,49	Gmf, Gmt, Ftae, Ftas, Fpi
2,4900001 - 3,49	Gml, Dco, Ac
3,4900001 - 4,49	Ddtr
4,4900001 - 5	Ddi, Ddrt, Dft, Ddtr

Fuente: el autor.

Se presenta una selección determinante en la que se evidencia que los procesos morfodinámicos se refieren específicamente a depósitos producto de grandes cantidades de material en movimiento, por lo que se obtienen los valores respectivos de acuerdo con el tipo de material transportado y depositado de la siguiente manera:

- Máxima: para los movimientos Ddi, Ddrt, Dft, Ddtr (cono de deslizamiento indiferenciado, cono o lóbulo de deslizamiento rotacional, cono o lóbulo de flujo indiferenciado y, en algunos casos, cono o lóbulo de deslizamiento traslacional, respectivamente);
- Moderadamente alta: para los movimientos correspondientes a Ddtr (cono o lóbulo de deslizamiento traslacional);
- Media: para los movimientos Gml, Dco, Ac (morrena lateral, cono y lóbulo coluvial de solifluxión y cantera);
- Baja: para las unidades referentes a Gmf, Gmt, Ftae, Ftas, Fpi (morrena de fondo, morrena terminal o frontal, escarpe de terraza de acumulación, terraza de acumulación sub-reciente y plano o llanura de inundación), y
- Muy baja: para las demás unidades geomorfológicas representadas.

De lo anterior se puede concluir que el mapa de morfodinámica indica la presencia o ausencia de procesos erosivos y movimientos en masa, de manera directamente proporcional, basando su criterio principal en la dinámica de la unidad evaluada.

5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Las geoformas o posiciones geomorfológicas, como las define Alfred Zink⁵⁴, son el resultado de un conjunto de procesos proveniente de tres factores fundamentales: el bioclimático, el topográfico y el material parental, que análogamente son factores pedoformadores, ya que van modelando la geoforma de acuerdo con la conjunción de sus procesos, en los que cada variable que se ve afectada puede generar un resultado completamente distinto, aunque sucedan en áreas cercanas, y a esto se le va adicionando el factor tiempo, que diversifica o reduce, según sea el caso, las combinaciones posibles obtenidas por los factores mencionados anteriormente. Igualmente, estas geoformas se clasifican en tres categorías: morfocronológicas, morfográficas y morfogenéticas.

Las morfocronológicas se refieren a la descripción geomorfológica de acuerdo con su datación, evolución y cambios posibles que ha de sufrir la geoforma con aspectos posteriores a su formación; las morfográficas son referidas a la topografía y su configuración respectiva y, finalmente, las morfogenéticas se refieren a los procesos que están originando u originaron una determinada geoforma, aclarando que no siempre estos procesos son observables hoy en día, debido a que muchos han dejado de suceder desde distintos tiempos.⁵⁵

En la zona de estudio, en función de estos factores y variables, se genera como resultado un mapa geomorfológico preliminar (ver ANEXO F. Mapa geomorfológico preliminar, planchas 153-I-B y 153-II-A y ANEXO G. Mapa geomorfológico preliminar, planchas 153-I-D y 153-II-C 8, así como figura 28. Mapa geomorfológico preliminar), presentando cinco ambientes geomorfológicos, que dan paso a una serie de sesenta y dos unidades geomorfológicas, que a su vez son determinadas como suelos sedimentarios producto de erosión, siendo generadas las geoformas correspondientes a los ambientes denudacionales.

Las geoformas observadas, de carácter estructural, corresponden a efectos de compresión, debido a las fuerzas convergentes generadoras de las fallas representativas, regionales y locales de la zona. Las geoformas glaciares son representativas de la cordillera de Los Andes y su proceso emergente se debe a la subducción presentada en la costa del Pacífico, en donde la placa de Nazca (totalmente oceánica) deriva en dirección este y colisiona con la placa Sudamericana (Continental) que converge hacia el oeste⁵⁶. Esto genera un plegamiento de la corteza continental, al mismo tiempo que produce una subducción en la que el magma asciende hacia la superficie, formando así la respectiva cordillera.

⁵⁴ Ob. Cit.

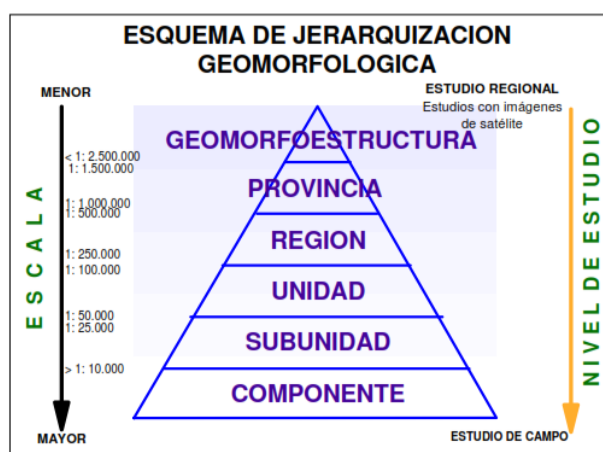
⁵⁵ Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos, pág. 16.

⁵⁶ https://es.wikipedia.org/wiki/borde_convergente

El ambiente fluvial presente proviene del deshielo glaciar y de corrientes de agua transportadoras de materiales, provenientes del nevado, mediante sus drenajes representativos y locales, adicionando a este su proceso de socavación.

Carvajal plantea enfocar el análisis geomorfológico de un sitio o lugar partiendo de una vista regional hacia una vista local⁵⁷. Para este efecto, desarrolla una propuesta de jerarquización geomorfológica (ver figura 27. Esquema de la jerarquización geomorfológica) en la que se relacionan las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, y en la que la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, basando su detalle en los ambientes morfogenéticos, la expresión morfológica, la litología y los procesos morfodinámicos⁵⁸

Figura 27. Esquema de la jerarquización geomorfológica



Fuente: INGEOMINAS (Carvajal, 2008)

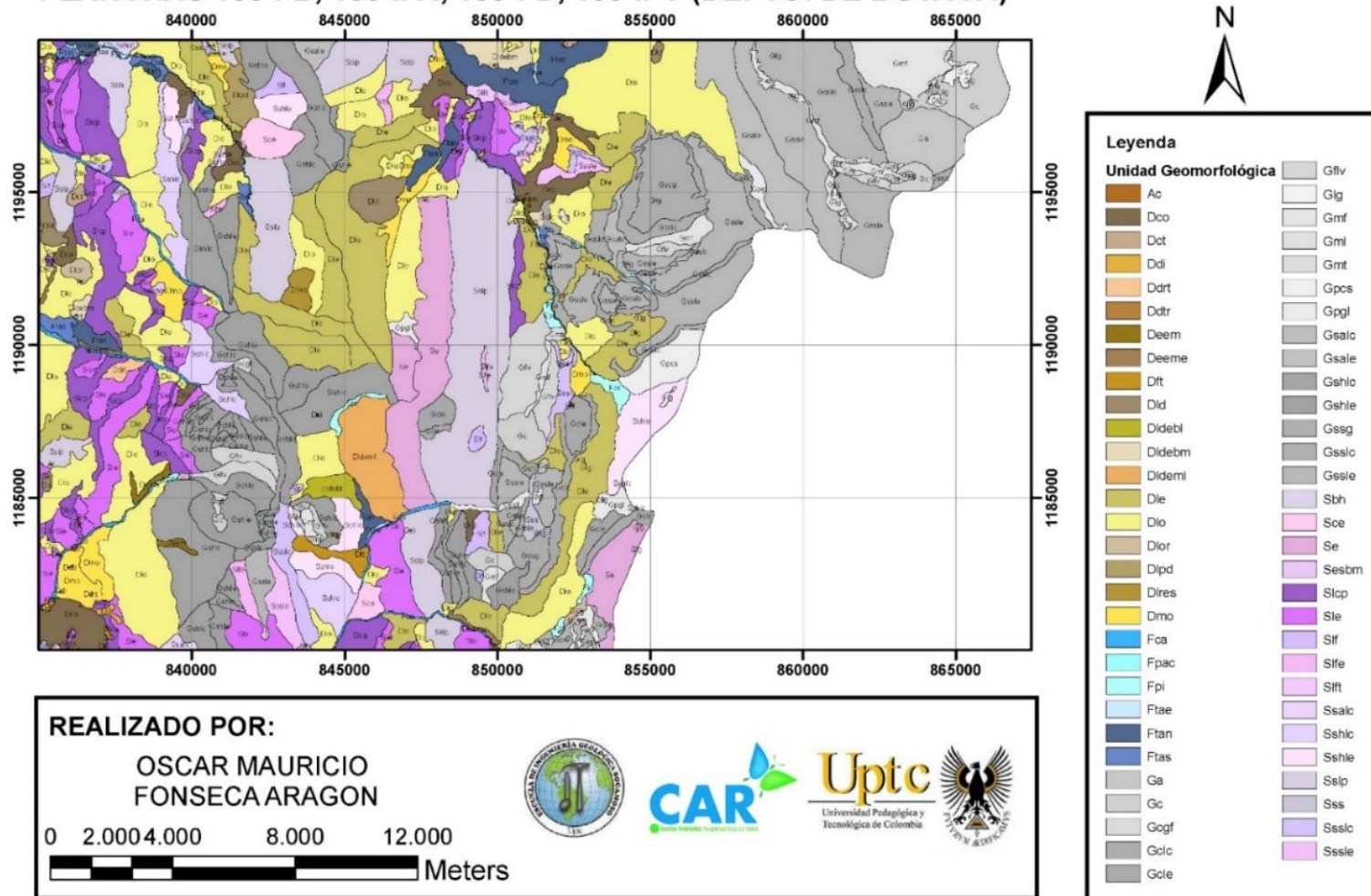
Posteriormente, se presenta un bloque diagrama (ver figura 29. Bloque diagrama de geomorfología preliminar), que representa la relación entre las unidades geomorfológicas descritas en el área de estudio, con la presencia y disposición de los estratos correspondientes a las formaciones geológicas, con las fallas presentes dentro del área, mostrando la relación existente entre ellos. Igualmente, se desea representar la localización de las diferentes unidades geomorfológicas, con respecto al área de estudio, presentándose el ambiente glaciar y estructural en mayor porcentaje hacia el costado este, y el ambiente fluvial y denudacional hacia el costado oeste.

⁵⁷ Ob. Cit.

⁵⁸ Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa, escala 1:100.000, pág. 12.

Figura 28. Mapa geomorfológico preliminar.

**MAPA GEOMORFOLOGICO PRELIMINAR
PLANCHAS 153-I-B, 153-II-A, 153-I-D, 153-II-C (DEPTO. DE BOYACA)**



Fuente: el autor.

BLOQUE DIAGRAMA DE GEOMORFOLOGIA PRELIMINAR
PLANCHAS 153-I-B, 153-II-A, 153-I-D, 153-II-C (DEPTO. DE BOYACA)



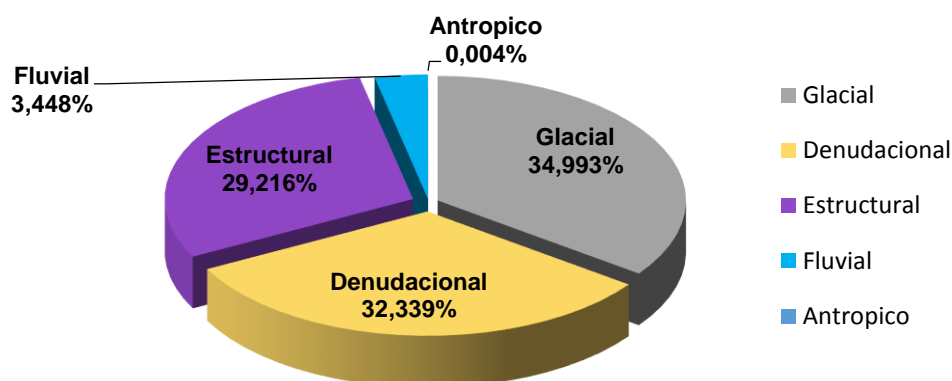
A continuación, se relaciona el área en kilómetros y porcentaje (%) de cada ambiente geomorfológico ocupado en el área de estudio (ver tabla 11. Ambientes morfogenéticos por áreas y porcentaje en la zona de estudio), posteriormente representado de manera gráfica en la figura 30. Ambientes morfogenéticos (ver).

Tabla 11. Ambientes morfogenéticos por áreas y porcentaje en la zona de estudio.

AMBIENTE	ÁREA (KM2)	ÁREA%
Antrópico	18.739,00	0,004%
Fluvial	16.382.244,32	3,449%
Estructural	138.796.292,99	29,217%
Denudacional	153.629.667,27	32,340%
Glacial	166.239.536,79	34,994%
Total	475.047.741	100%

Fuente: el autor.

Figura 30. Ambientes morfogenéticos.



Fuente: el autor.

En la figura se puede observar que el ambiente de mayor área ocupada dentro de las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C es correspondiente al ambiente glacial, ocupando el 34,993%; el 32,339% corresponde al ambiente denudacional; el 29,216% corresponde al ambiente estructural; el 3,448%, al ambiente fluvial, y el ambiente antrópico, finalmente, ocupa el 0,004%.

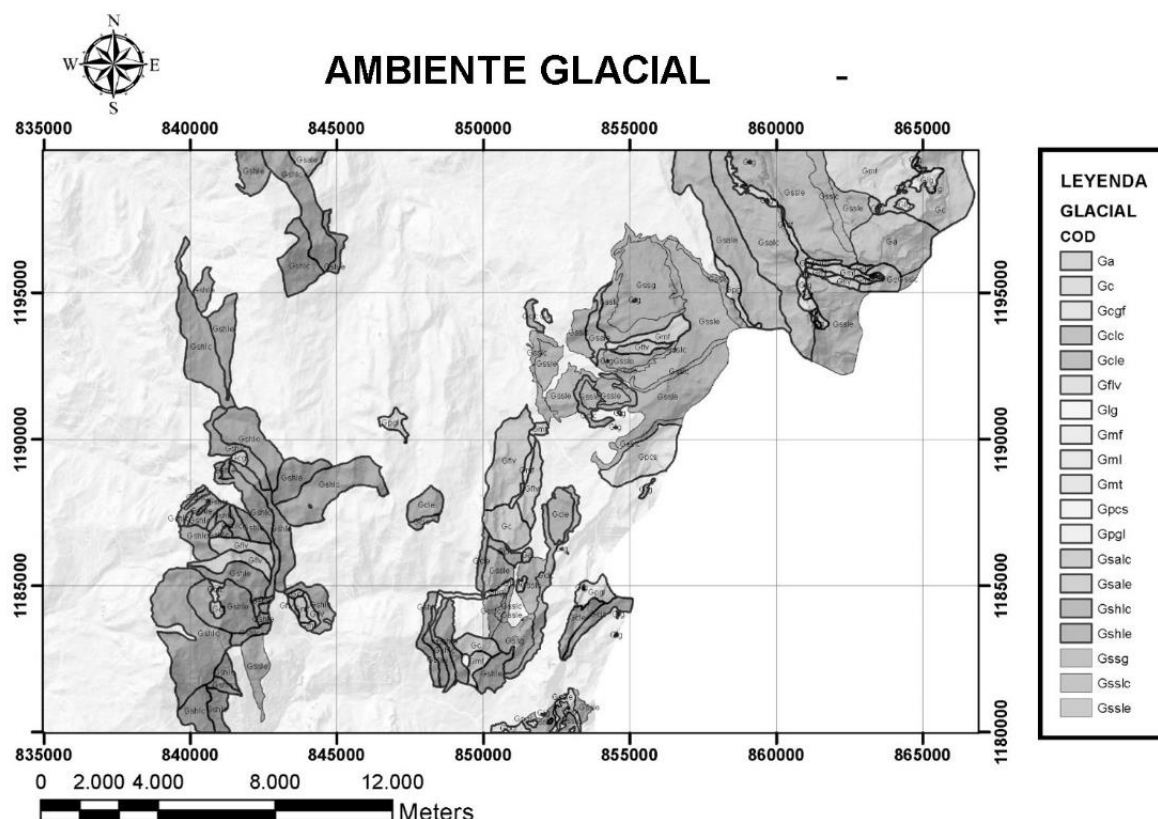
5.1 AMBIENTE GLACIA-PERIGLACIAL

En este ambiente se incluyen las geoformas que se originan por procesos relacionados con la erosión intensa, ocasionada debido al movimiento de las masas

de hielo en zonas de alta montaña durante épocas glaciales o, incluso, en la actualidad. Estos eventos modelaron el sustrato rocoso previo, generando grandes cantidades de sedimento, que fueron transportados o acumulados en las laderas adyacentes.⁵⁹

Se presenta un mapa de sectorización, para definir el ambiente glacial y su zona ocupada en el área de estudio, mostrando una mayor presencia hacia el este, en contacto con la Sierra Nevada de El Cocuy (ver figura 31. Distribución geográfica del ambiente glacial en el área de estudio).

Figura 31. Distribución geográfica del ambiente glacial en el área de estudio.



Fuente: el autor.

Se dividió el ambiente glacial en la totalidad de sus unidades geomorfológicas, en las cuales se categorizó por extensión de área en km² y % con respecto a la totalidad del área ocupada por el ambiente (ver tabla 12. Unidades geomorfológicas por área y porcentaje, ambiente glacial), que fue representada de manera gráfica en el diagrama circular que se presenta en la figura 32. Representación área de las unidades de ambiente glacial (ver).

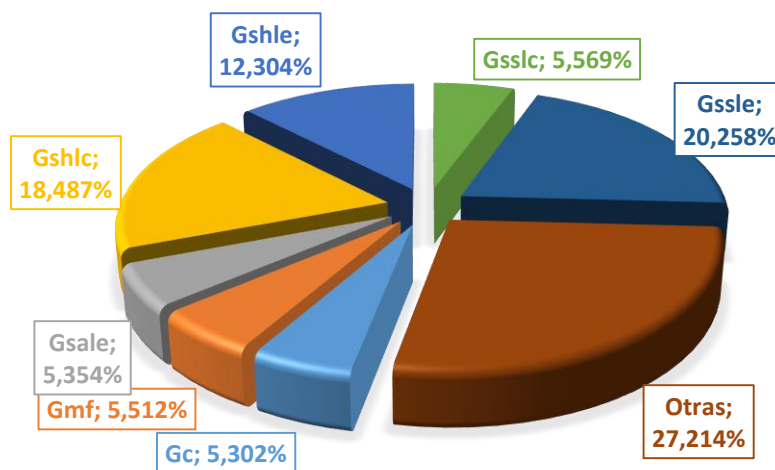
⁵⁹ Glosario de unidades y subunidades geomorfológicas.

Tabla 12. Unidades geomorfológicas por área y porcentaje, ambiente glacial.

NOMBRE	SÍMBOLO	ÁREA (KM2)	ÁREA (%)
Circo glacial y de nivación	Gc	8.814.598,50	5,302%
Morrena de fondo	Gmf	9.163.303,18	5,512%
Ladera estructural sierra anticlinal glaciada	Gsale	8.900.467,21	5,354%
Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal glaciada	Gshlc	30.731.973,30	18,487%
Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada	Gshle	20.453.523,28	12,304%
Ladera contrapendiente de sierra sinclinal glaciada	Gsslc	9.257.868,92	5,569%
Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada	Gssle	33.676.680,64	20,258%
Área correspondiente a unidades de área porcentaje inferior a 5%	Otras	45.241.121,75	27,214%
TOTAL		166.239.536,79	100%

Fuente: el autor.

Figura 32. Representación área de las unidades de ambiente glacial.



Fuente: el autor.

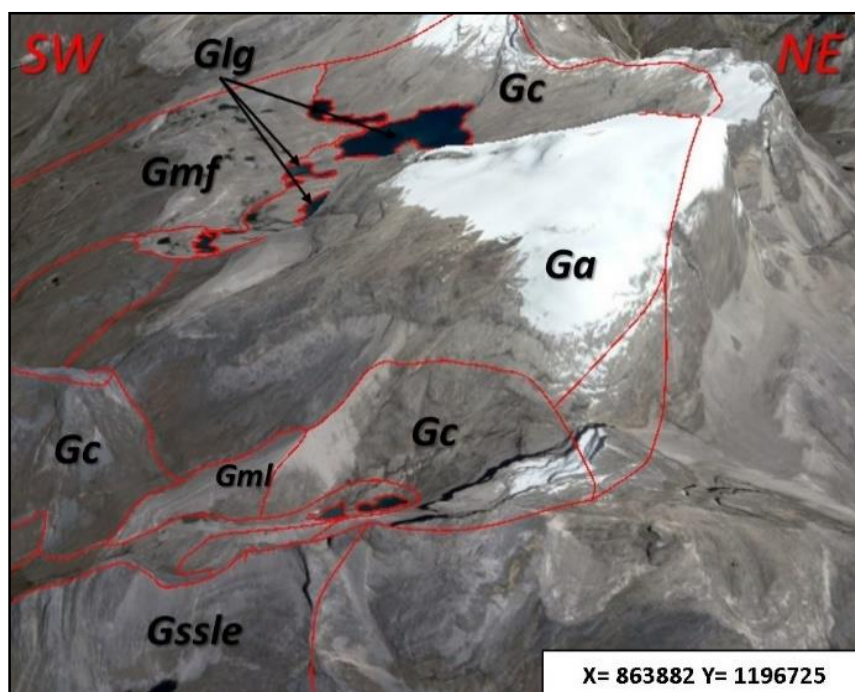
La unidad de tipo local que predomina en el área de estudio de las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, en el ambiente glacial, corresponde a la ladera estructural de sierra sinclinal glaciada (Gssle), con un 20,258% del área total, seguida de la ladera en contrapendiente de sierra homoclinal glaciada (Gshlc), con un 18,487%. La ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle) ocupa un 12,304%, a lo que le siguen, con un porcentaje apenas superior al 5%, las geoformas ladera estructural sierra anticlinal glaciada (Gsale), morrea de fondo

(Gmf), circo glaciar y de nivación (Ga) y, finalmente, el 27,214% es correspondiente al conjunto de unidades restantes, que no superaban el 5% de la zona.

5.1.1 Aguja glacial (Horn) (Ga). Esta unidad se localiza en el cerro Campanilla negro, en el municipio de Güican, sobre rocas de la formación Une-Aguardiente (Kia), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas, con delgadas intercalaciones de areniscas finas y lodolitas oscuras, a veces carbonosas.

La unidad se presenta como un cerro rocoso, montañoso, de forma irregular piramidal, con laderas moderadamente largas, con pendientes escarpadas superiores a 45°, presentando formas cóncavas, siendo originada por intersección de paredes de varios circos glaciales. Son incluidos los cerros estructurales alomados afectados localmente por procesos erosivos de origen glacial⁶⁰ (ver figura 33. Vista de perfil de Aguja Glacial (Horn) (ga)).

Figura 33. Vista de perfil de Aguja Glacial (Horn) (ga).



Fuente: Google Earth Pro.

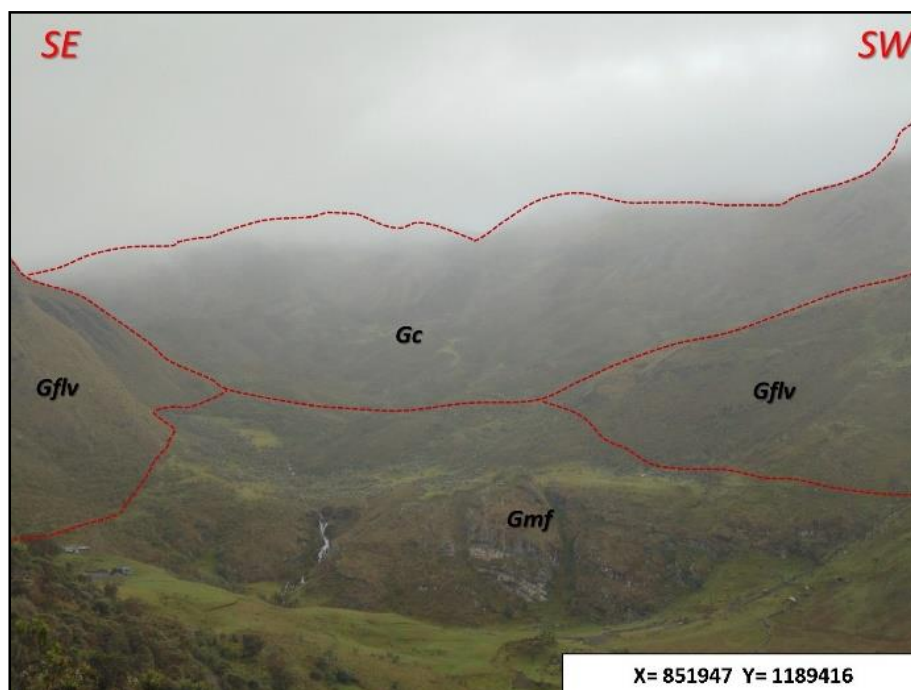
5.1.2 Circo glaciar y de nivación (Gc). Esta unidad se localiza en la Cuchilla Hoya del Cojo, en el municipio de El Cocuy, sobre rocas de la formación Guaduas (Tkg), compuesta por lodolitas fisibles grises y negras, con frecuentes intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino, y la formación Arenisca

⁶⁰ Ibidem.

Tierna (Ksat), compuesta por areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso, con delgadas intercalaciones de lodolitas y areniscas de grano fino oscuras.

Esta unidad consiste en paredes cóncavas, semicirculares, de longitudes moderadas cortas, escarpadas por depresiones someras formadas por socavación correspondiente a la acción erosiva de escarcha o nieve en zonas de influencia glacial y periglacial respectivamente⁶¹ (ver foto 10. Vista panorámica de circo glacial y de nivación (Gc)).

Foto 10. Vista panorámica de circo glacial y de nivación (Gc).



Fuente: el autor.

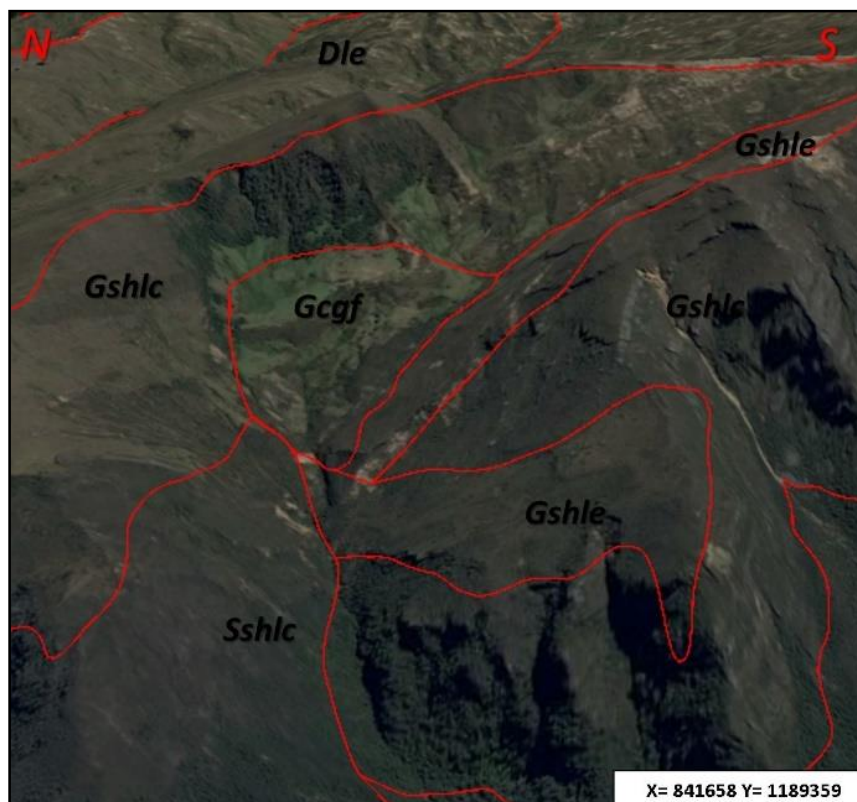
5.1.3 Conos glaciofluviales (Gcgf). Esta unidad se localiza en el pico Ventanas del municipio de La Uvita; se presenta sobre la formación Areniscas de Socha (Tpars), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas y subliticas, de grano medio a grueso con intercalaciones de lodolitas negras y areniscas finas oscuras, y la formación Arcillas de Socha (Tpas), compuesta principalmente por lodolitas fisiles de color claro, verdosas o amarillentas, con intercalaciones de areniscas líticas.

Esta unidad geomorfológica consiste en conos de longitud corta, de laderas convexas, muy inclinadas, constituidas de arcilla, con bloques de tamaños decimétricos y, localmente, paleosuelos negros. Su origen se asocia a corrientes

⁶¹ *Ibíd.*

torrenciales, producto de deshielo de la parte más distal de una masa glacial. Este abanico glaciofluvial es coalescente, presentando una disección longitudinal en asocio con escarpes en forma de “V”⁶² (ver figura 34. Vista en planta de conos glaciofluviales (Gcgf)).

Figura 34. Vista en planta de conos glaciofluviales (Gcgf)



Fuente: Google Earth Pro.

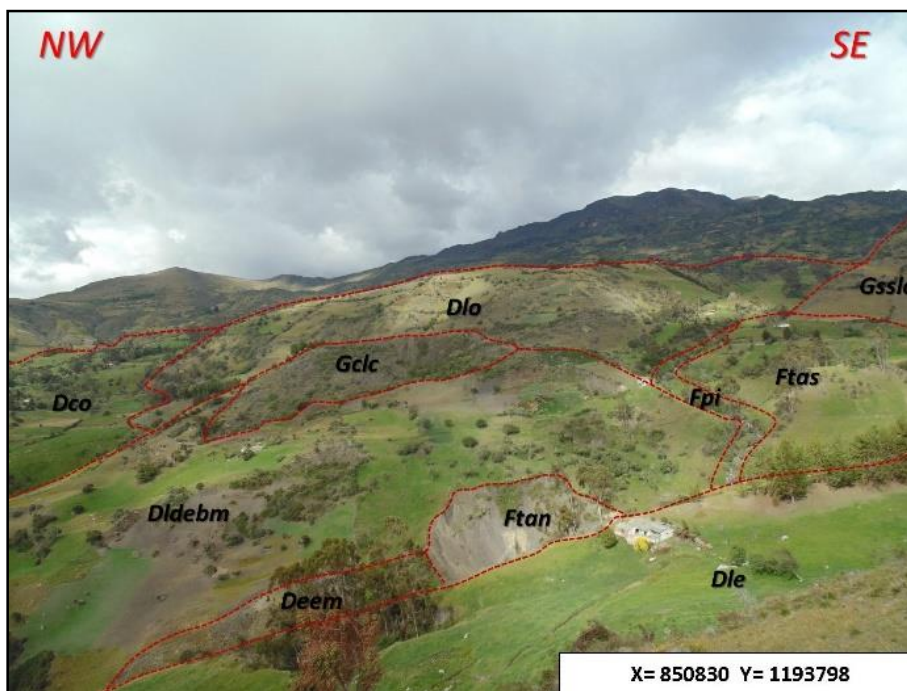
5.1.4 Ladera contrapendiente de cuesta glaciada (Gclc). Esta unidad se localiza en la vereda Palchacual; se presenta sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras con foraminíferos bentánicos y planctónicos.

Esta unidad geomorfológica consiste en laderas definidas por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, producto de basculamiento suave de capas de roca blanda, de longitud moderada, de forma cóncava a irregular escalonada, con pendientes escarpadas a muy escarpadas, asociadas localmente a depresiones de nivación y circos glaciales⁶³ (ver foto 11. Vista panorámica de ladera contrapendiente de cuesta gl. (Gclc)).

⁶² Ibídem.

⁶³ Ibídem.

Foto 11. Vista panorámica de ladera contrapendiente de cuesta gl. (Gclc).



Fuente: el autor.

5.1.5 Ladera estructural de cuesta glaciada (Gcle). Esta unidad se localiza en el sector Cruznucida, correspondiente al municipio de El Cocuy, se presenta sobre la formación Chipaque (Ksc), compuesta por lodolitas fisibles negras, un poco ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino.

Esta unidad geomorfológica consiste en laderas definidas por inclinación de los estratos en favor de la pendiente, producto del basculamiento suave de capas de rocas duras y blandas, de longitud moderada, de formas cóncavas a irregulares, escalonadas con pendientes escarpadas⁶⁴ (ver foto 12. Vista panorámica de ladera estructural de cuesta glaciada (Gcle)).

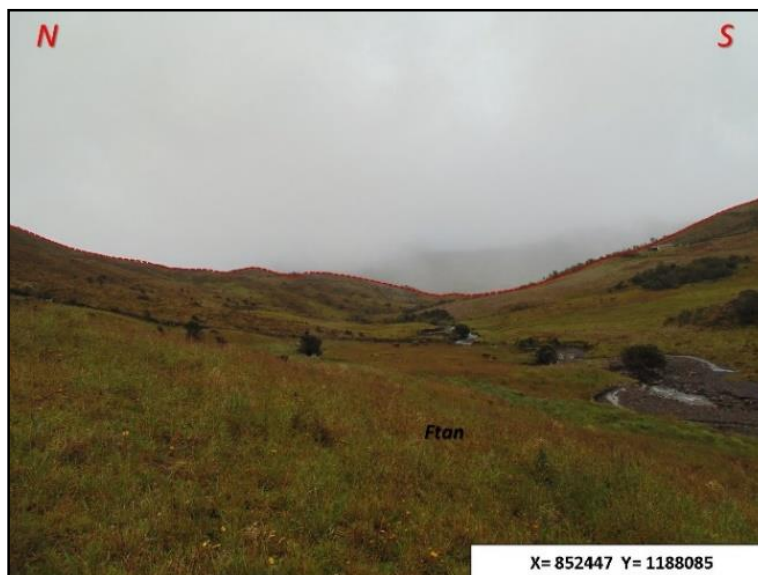
5.1.6 Flancos de valle glacial (Gflv). Esta unidad se localiza en el sector Cuchilla Hoya del Cojo correspondiente al municipio de El Cocuy, se presenta sobre la formación Los Pinos (Kslp), compuesta por lodolitas fisibles, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino con grano silíceo.

Esta unidad geomorfológica consiste en laderas cóncavas, con pendientes abruptas, longitudes moderadamente largas, con facetas truncadas, que se originaron por procesos laterales de exageración y por presiones de las masas de

⁶⁴ Ibídem.

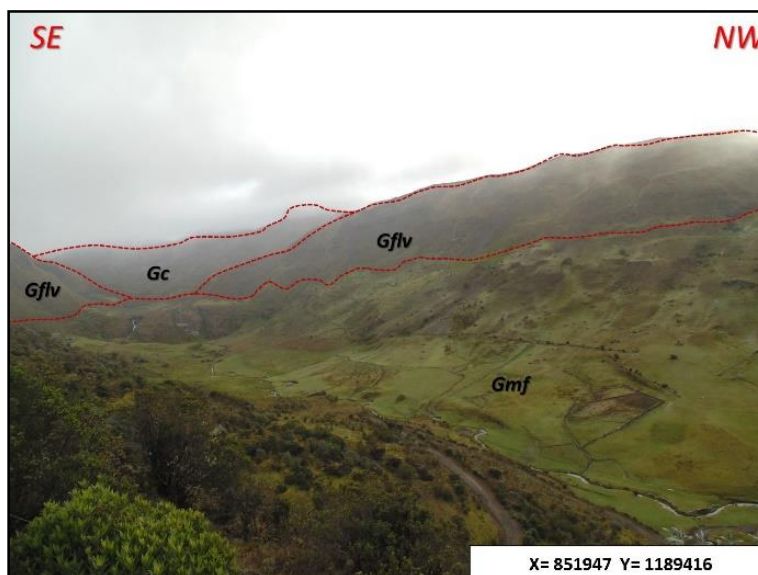
hielo lateral, ejercidas por la masa de hielo sobre los flancos del valle inicial⁶⁵ (ver foto 13. Vista panorámica flancos de valle glacial (Gflv)).

Foto 12. Vista panorámica de ladera estructural de cuesta glaciada (Gcle).



Fuente: el autor.

Foto 13. Vista panorámica flancos de valle glacial (Gflv).



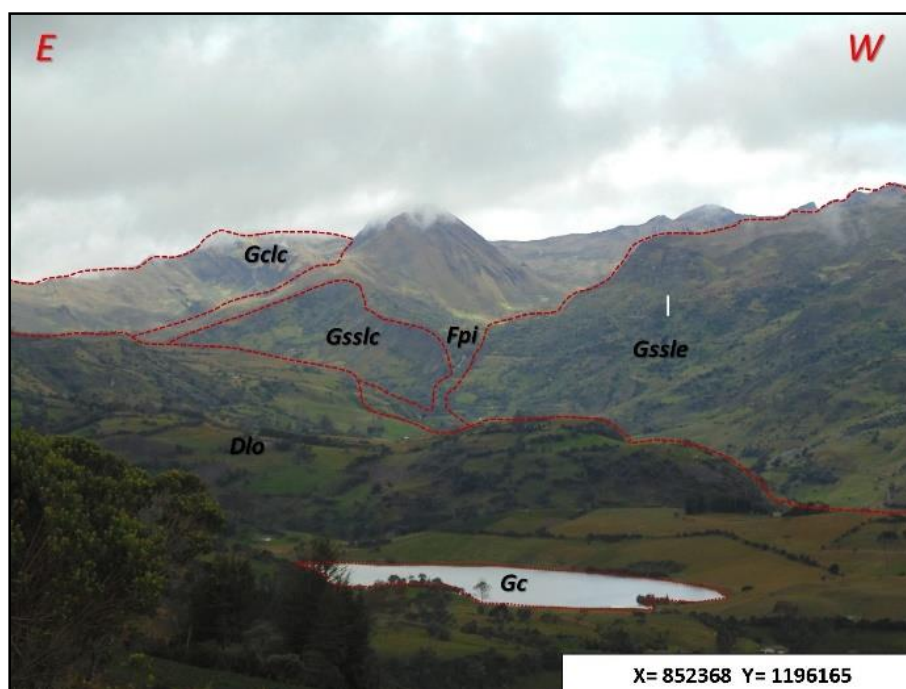
Fuente: el autor.

⁶⁵ Ibídem.

5.1.7 Laguna Glacial (Glg). Esta unidad se localiza en el sector La Hoya de los Pomos, correspondiente al municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras, con foraminíferos bentánicos y planctónicos.

Esta unidad geomorfológica consiste en cuerpos de agua en zonas montañosas glaciadas, principalmente en la base o piso de los circos glaciales. Se incluyen igualmente los lagos formados en planicies glacio-lacustrinas; la fracción sólida suele estar constituida por materiales finos arcillosos. Se incluyen los lagos formados en la parte trasera de morrenas terminales de recesión y localmente en planos glaciolacustrinos⁶⁶ (ver foto 14. Vista panorámica Laguna glaciaria (Glg)).

Foto 14. Vista panorámica Laguna glaciaria (Glg).



Fuente: el autor.

5.1.8 Morrena de fondo (Gmf). Esta unidad se localiza en el sector La Hoya del Cojo, correspondiente al municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Los Pinos (Kslp), compuesta por lodolitas fisibles, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino con grano silíceo.

⁶⁶ *Ibíd.*

Esta unidad geomorfológica consiste en montículos de forma alomada, localizados en el fondo de los valles glaciales, constituidos -en general- de fragmentos de roca angulares, dispuestos caóticamente en matriz arcillosa o arenosa, muy compacta. Está asociada con la depositación de grandes masas de sedimento, producto de del transporte y acumulación por la masa de hielo y, particularmente, por la acción de corrientes fluviales, producto de deshielos, ya sea durante la época de glaciación o una vez terminados los eventos estadiales⁶⁷ (ver foto 13, Vista panorámica flancos de valle glacial (Gflv)).

5.1.9 Morrena lateral (Gml). Esta unidad se localiza en el sector Cerro Campanilla Negra, correspondiente al municipio de Güicán; se presenta sobre la formación Une-Aguardiente (Kia), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas, con delgadas intercalaciones de areniscas finas y lodolitas oscuras, a veces carbonosas.

Esta unidad geomorfológica consiste en crestas alomadas lineares y alongadas, a lo largo de las márgenes de un valle glacial con laderas cóncavas y rectas muy cortas e inclinadas, constituidas de material glacial acumulado, tanto por lenguas glaciales como por conos glaciofluviales. Se constituyen de fragmentos de rocas subangulares a subredondeados con lentes de grava y, localmente, con bloques de tamaños métricos.⁶⁸

5.1.10 Morrena terminal o frontal (Gmt). Esta unidad se localiza en el sector La Pajita, correspondiente al municipio de El Cocuy; se presenta sobre un depósito de glaciares sin diferenciar (Qgl), zona representadas por depósitos glaciares sin formas morfológicas muy particulares. Probablemente son morrenas de fondo, laterales y frontales completamente destruidas.

Esta unidad consiste en lomas con forma de medialuna en planta, a manera de diques, que se ubican transversal y escalonadamente en la parte baja final de los valles glaciales. Sus flancos presentan formas cóncavas de longitud muy corta y pendientes inclinadas. Se componen de una mezcla caótica de arcilla, arenas y gravas angulares con muestras del arrastre⁶⁹ (ver foto 15. Vista panorámica morrena terminal (Gmt)).

5.1.11 Plano y cono de sobrelavado glacial (Gpcs). Esta unidad se localiza en el sector de Cuchilla Caja Grande, correspondiente al municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Chipaque (Ksc), compuesta por lodolitas fisibles negras, un poco ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino.

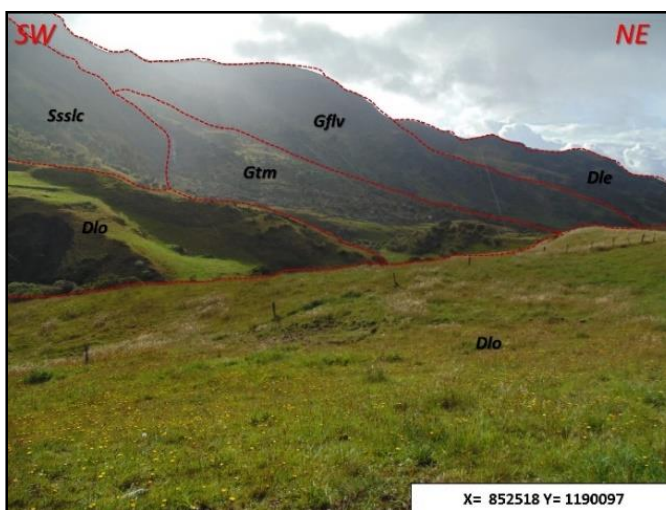
⁶⁷ Ibídem.

⁶⁸ Ibídem.

⁶⁹ Ibídem.

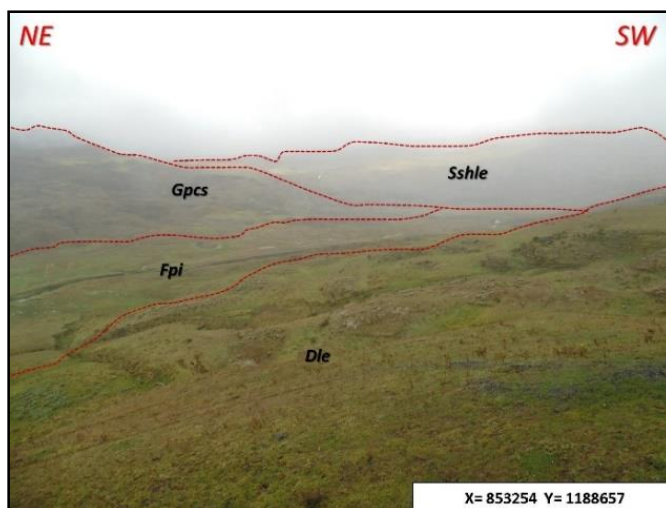
Esta unidad geomorfológica consiste en planos suavemente inclinados de longitud corta y recta, localizados más allá del margen glacial definido por las morrenas terminales; se constituyen de material glacial (arenas y gravas) depositado por corrientes fluviales generadas por deshielo glacial. Los conos de sobrelavado glacial comprenden una serie de mantos de sedimento en forma de abanico, de extensión kilométrica y suave inclinación⁷⁰ (ver foto 16. Vista panorámica de plano y cono sobrelavado glacial (Gpcs)).

Foto 15. Vista panorámica morrena terminal (Gmt).



Fuente: el autor.

Foto 16. Vista panorámica de plano y cono sobrelavado glacial (Gpcs).



Fuente: el autor.

⁷⁰ Ibídem.

5.1.12 Plano glaciolacustrino (Gpgl). Esta unidad se localiza en el sector de el alto La Guerra, correspondiente al municipio de Chita; se presenta sobre la formación Une-Aguardiente (Kia), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas, con delgadas intercalaciones de areniscas finas y lodolitas oscuras, a veces carbonosas.

Esta unidad geomorfológica consiste en planos o laderas de suave pendiente, formadas por depositación de sedimentos en lagos y zonas marginales a un glaciar. Se constituyen de materiales finos (limos, arcillas) y, localmente, arenas y gravas traídas por aguas descongeladas. Se presentan como planos en zonas glaciadas y, localmente, en artesas elongadas, asociadas con valles glaciales. Se encuentran relacionadas con lagunas y zonas pantanosas de origen glaciar.⁷¹

5.1.13 Ladera de contrapendiente sierra anticlinal glaciada (Gsalc). Esta unidad se localiza en el sector Cañaveral, correspondiente al municipio de El Cocuy; se presenta sobre depósitos de morrenas antiguas parcialmente cubiertas por vegetación (Qma), mucho más destruidas por la erosión que las recientes. Debido a la vegetación, aparece una serie de colores más oscuros sobre las fotografías aéreas; forman diferentes cordones que se extienden entre el límite de las morrenas recientes y una altura de 3.000 metros, aproximadamente.

Esta unidad geomorfológica consiste en laderas de longitudes cortas a extremadamente largas, de forma convexa a cóncava hacia su base y de pendientes abruptas a escarpadas; sus capas se encuentran dispuestas en sentido opuesto a la pendiente de las laderas; su origen se asocia al desmantelamiento por erosión glacial y periglacial de los estratos blandos de la cima, dejando localmente depresiones de exaración, circos glaciales y de nivación manifiesta, como concavidades poco desarrolladas.⁷²

5.1.14 Ladera estructural sierra anticlinal glaciada (Gsale). Esta unidad se localiza en el sector Cañaveral, correspondiente al municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Une-Aguardiente (Kia), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas, con delgadas intercalaciones de areniscas finas y lodolitas oscuras, a veces carbonosas.

Esta unidad geomorfológica consiste en laderas de longitudes cortas a extremadamente largas, de formas convexas a rectas y con pendientes abruptas a muy abruptas, cuyas capas se encuentran dispuestas en el mismo sentido de la pendiente. Se constituyen de rocas competentes, afectadas por procesos de

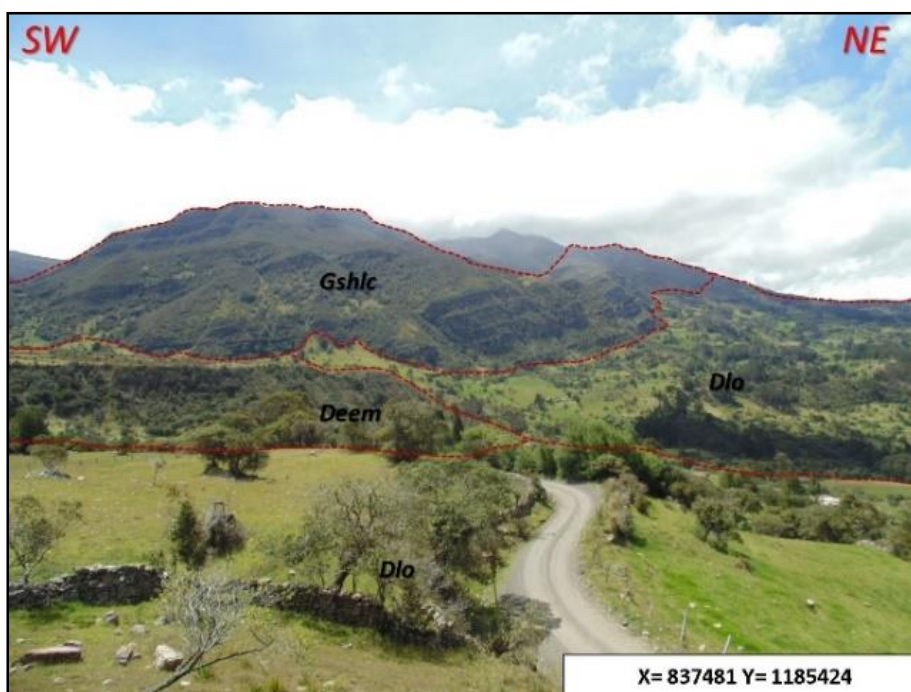
⁷¹ Ibídem.

⁷² Ibídem.

gelifracción y extracción (*plucking*). Son comunes las depresiones de exaración, localmente desarrolladas a circos de nivación y glaciales.⁷³

5.1.15 Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal gl. (Gshlc). Esta unidad se localiza en el sector Laguna Negra, correspondiente al municipio de La Uvita; se presenta sobre la formación Arcillas de Socha (Tpas), compuesta principalmente por lodolitas fisiles de color claro, verdosas o amarillentas, con intercalaciones de areniscas líticas, laderas definidas por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, de longitud moderada, de formas irregulares escalonadas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas, asociadas localmente a depresiones de nivación y circos glaciales. Presentan crestas agudas (aristas glaciales), circos glaciales y localmente valles del mismo origen, transversales, lo que le da una apariencia irregular en perfil (ver foto 17. Ladera en contrapendiente de Sierra H.G.(Gshlc)).

Foto 17. Ladera en contrapendiente de Sierra H.G.(Gshlc).



Fuente: el autor.

5.1.16 Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle). Esta unidad se localiza en el sector del alto El Relado, correspondiente al municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Concentración (Teco), constituida por

⁷³ Ibídem.

arcillas gris verdosas a negras y areniscas verdosas de grano fino a grueso, localmente con capas de hierro colítico.

Esta unidad geomorfológica consiste en laderas definidas por la inclinación de los estratos en el mismo sentido de la pendiente, con rangos que varían desde abruptas a muy escarpadas, de longitud moderada, de morfología convexa y superficies aborregadas y pendientes abruptas⁷⁴ (ver foto 18. Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle)).

Foto 18. Ladera estructural de sierra homoclinal glaciada (Gshle).



Fuente: el autor.

5.1.17 Sierra sinclinal glaciada (Gssg). Esta unidad se localiza en el sector Aguablanca, correspondiente al municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras, con foraminíferos bentánicos y planctónicos.

Esta unidad geomorfológica consiste en una prominencia topográfica de morfología colinada, en forma de artesa, formada en el eje de un sinclinal, limitada por laderas de contrapendiente. La disposición actual obedece a procesos denudativos diferenciales que han desmantelado los flancos de la estructura, invirtiendo el relieve original. Su origen se asocia al desmantelamiento por erosión glacial y

⁷⁴ Ibídem.

periglacial de los estratos blandos de la cima, dejando localmente depresiones de exaración, circos glaciales y de nivación manifiesta, como concavidades poco desarrolladas.⁷⁵

5.1.18 Ladera contrapendiente de sierra sinclinal glaciada (Gsslc). Esta unidad se localiza en el sector de la loma Los Aposentos, correspondiente al municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Chipaque (Ksc), compuesta por lodolitas fisibles negras, un poco ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino, laderas definidas por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, de longitud moderada, de formas irregulares escalonadas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas, asociadas localmente a depresiones de nivación y circos glaciales. Presentan crestas agudas (aristas glaciales), circos glaciales y, localmente, valles del mismo origen, transversales, lo que le da una apariencia irregular en perfil. Esta unidad se asocia a una estructural sinclinal⁷⁶ (ver foto 19. Ladera contrapendiente de sierra sinclinal glaciada (Gsslc)).

Foto 19. Ladera contrapendiente de sierra sinclinal glaciada (Gsslc).



Fuente: el autor.

5.1.19 Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada (Gssle). Esta unidad se localiza en el sector de la loma Los Aposentos, correspondiente al municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Chipaque (Ksc), compuesta por lodolitas

⁷⁵ Ibídem.

⁷⁶ Ibídem.

fisibles negras, un poco ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino.

Esta unidad geomorfológica consiste en laderas definidas por la inclinación de los estratos en el mismo sentido de la pendiente, con rangos que varían desde abruptas a muy escarpadas, de longitud moderada, de morfología convexa y superficies aborregadas y pendientes abruptas. Esta unidad se asocia a una estructural sinclinal (ver foto 20. Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada (Gssle)).

Foto 20. Ladera estructural de sierra sinclinal glaciada (Gssle).



Fuente: el autor.

5.2 AMBIENTE DENUDACIONAL⁷⁷

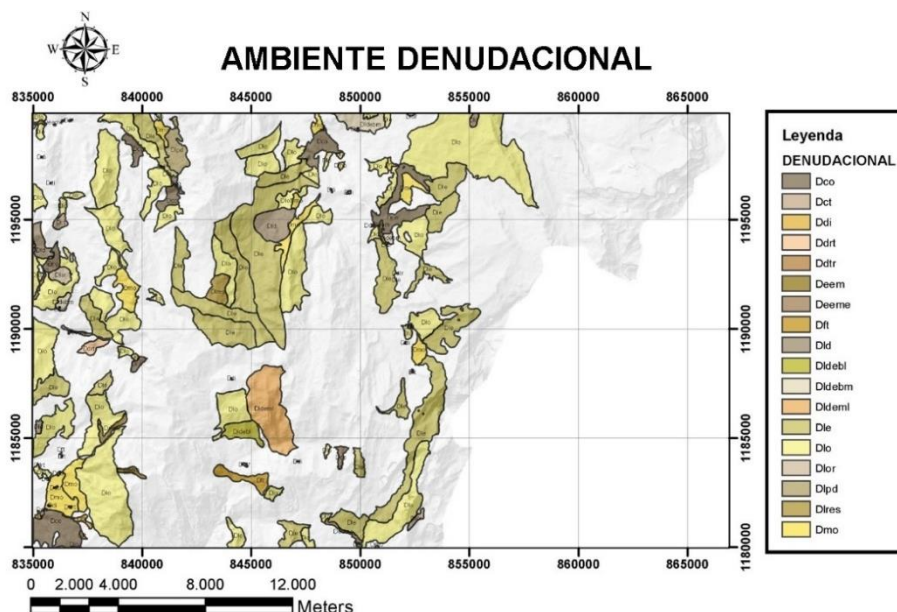
En este ambiente se presentan geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial, que remodelan dejando remanentes de las unidades previas, y generando nuevas unidades por acumulación de sedimentos.⁷⁸

⁷⁷ Ibídem.

⁷⁸ Ibídem.

Se presenta un mapa de sectorización, para definir el ambiente denudacional y su zona ocupada en el área de estudio, mostrando una mayor presencia hacia la zona oeste (ver figura 35. Distribución geográfica del ambiente denudacional, área estudio).

Figura 35. Distribución geográfica del ambiente denudacional en el área de estudio.



Fuente: el autor.

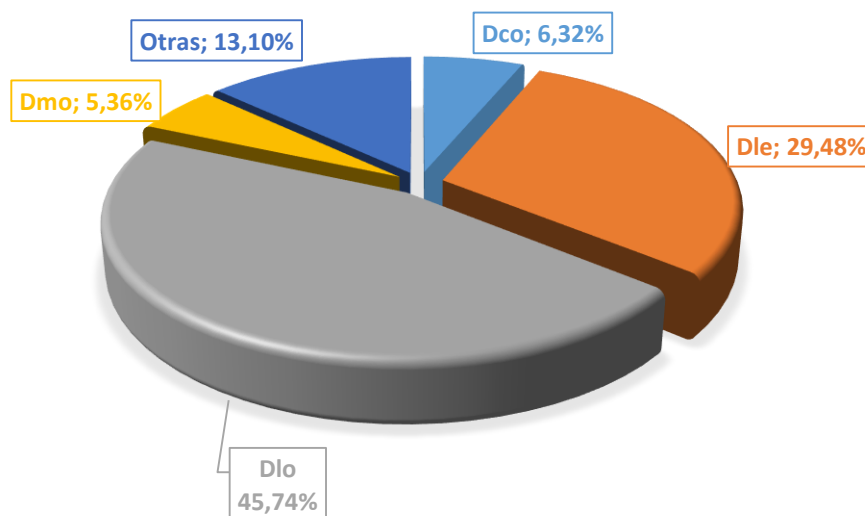
Se dividió el ambiente denudacional en la totalidad de sus unidades geomorfológicas, en las cuales se categorizó por extensión de área en km² y porcentaje (%), con respecto a la totalidad del área ocupada por el ambiente (ver tabla 13. Unidades geomorfológicas, por área y porcentaje, del ambiente denudacional), que fue representada de manera gráfica en el diagrama circular de la figura 36. Representación área de las unidades de ambiente denudacional (ver).

Tabla 13. Unidades geomorfológicas, por área y porcentaje, del ambiente denudacional.

NOMBRE	SÍMBOLO	ÁREA (KM2)	ÁREA (%)
Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión	Dco	9.710.529,64	6,321%
Ladera erosiva	Dle	45.289.486,18	29,480%
Ladera ondulada	Dlo	70.273.470,25	45,742%
Montículo y ondulaciones denudacionales	Dmo	8.236.207,81	5,361%
Correspondiente a unidades de área porcentaje inferior a 5%	Otras	20.119.973,40	13,096%
		153.629.667,27	100%

Fuente: el autor.

Figura 36. Representación área de las unidades de ambiente denudacional.



Fuente: el autor.

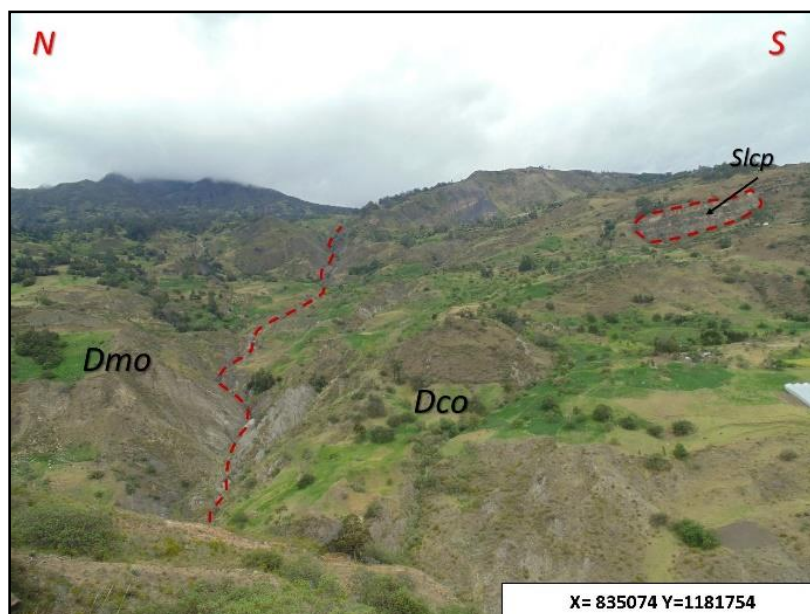
La unidad de tipo local, predominante en el área de estudio referente a las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, en el ambiente denudacional, corresponde a ladera ondulada (Dlo), presentando un porcentaje equivalente al 45,74%, seguida por la unidad geomorfológica correspondiente a ladera erosiva (Dle), con un 29,48%; a su vez, ésta es seguida por el cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco). Los montículos y ondulaciones denudacionales (Dmo) se presentan con un 5,36% del área, y las unidades restantes no superan el 5%, por lo que fueron agrupadas en el porcentaje restante, correspondiendo a 13,10%.

5.2.1 Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco). Esta unidad se localiza a 2,5 km al suroeste del caserío Cusagui, en el municipio de La Uvita; se presenta sobre un depósito cluvial (Qc), compuesto por cantos de diferentes tamaños, dentro de una matriz no consolidada de arenas y arcillas.

Esta unidad geomorfológica consiste en una estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja. Su origen es relacionado a procesos de transporte y deposición de materiales sobre las laderas, y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados.

Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz arcillosa a areno limoarcillosa (ver foto 21. Panorámica de cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco)).

Foto 21. Panorámica de cono y lóbulo coluvial y de solifluxión (Dco).



Fuente: el autor.

5.2.2 Cono de talus (Dct). Esta unidad se localiza en el sector de Loma Redonda, en el municipio de San Mateo; se presenta sobre un depósito coluvial (Qc), compuesto por cantos de diferentes tamaños, dentro de una matriz no consolidada de arenas y arcillas.

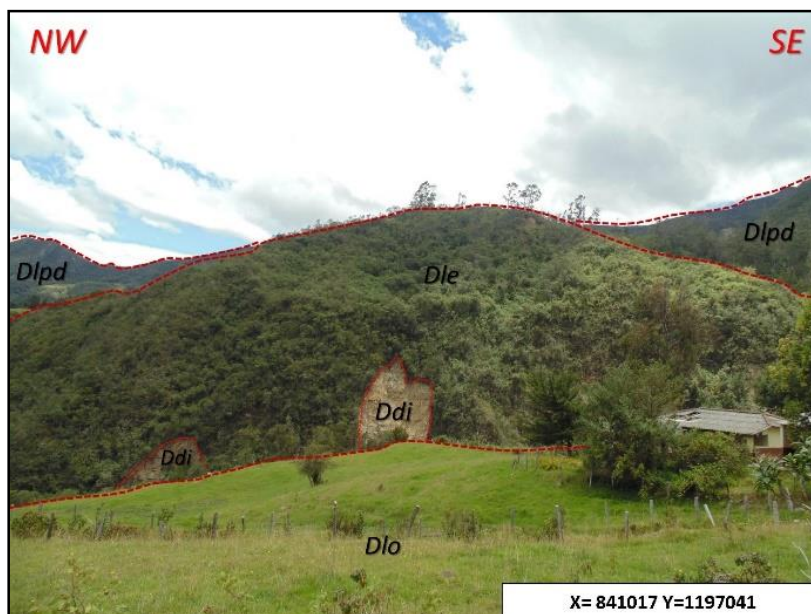
Esta unidad geomorfológica consiste en una estructura en forma de cono o lóbulo, localizada en la base de los escarpes. Presenta un ápice angosto y, en los cambios de la pendiente, extremos redondeados; sus laderas son de longitud corta, cóncavas hacia la parte distal. Su origen está relacionado con procesos de acumulación mecánica de bloques y fragmentos angulares heterométricos que se desprendieron de las partes altas. Incluye los conos generados por actividad tectónica.

5.2.3 Cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi). Esta unidad se localiza en el sector Providencia, en el municipio de San Mateo; se presenta sobre la formación Areniscas de Socha (Tpars), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas y sublíticas, de grano medio a grueso, con intercalaciones de lodolitas negras y areniscas finas oscuras.

Esta unidad geomorfológica consiste en una estructura en forma de cono o lóbulo, de morfología baja, cóncava, con una pendiente escalonada, nichos semicirculares, bloques inclinados, relieve irregular, formación de grietas y cambios súbitos de la

pendiente. Su origen está relacionado con procesos de movimientos en masa de tierra o roca, cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o en zonas con alta deformación cortante (ver foto 22. Panorámica de cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi)).

Foto 22. Panorámica de cono de deslizamiento indiferenciado (Ddi).



Fuente: el autor.

5.2.4 Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (Ddrt). Esta unidad se localiza en el sector de la loma El Rayo, en el municipio de La Uvita; se presenta sobre la formación Arcillas de Socha (Tpas), compuesta principalmente por lodolitas fisiles de color claro, verdosas o amarillentas, con intercalaciones de areniscas líticas.

Esta unidad geomorfológica consiste en una estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja, de longitud corta, irregular, localmente escalonada, inclinada y lobulada en su parte distal. Su origen está relacionado con la acumulación de tierra y bloques (ver foto 23. Panorámica de cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (Ddrt)).

5.2.5 Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional (Ddtr). Esta unidad se localiza en el sector Laguna Verde, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre un depósito glaciares sin diferenciar (Qgl), con zonas representadas por depósitos glaciares sin formas morfológicas muy particulares. Probablemente son morrenas de fondo, laterales y frontales completamente destruidas.

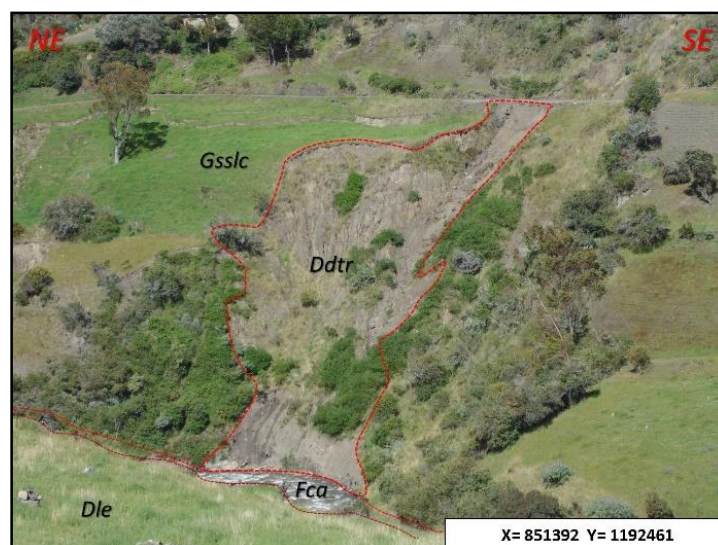
Esta unidad geomorfológica consiste en una estructura en forma de cono o lóbulo, con morfología plana a suavemente ondulada. Su origen está relacionado con el movimiento de rocas o tierra a lo largo de una superficie de falla más o menos planar. El movimiento es controlado por segmentos de debilidad asociados con planos de estratificación, zonas de alto fracturamiento o el contacto entre un plano rocoso y los detritos suprayacentes (Ver foto 24. Panorámica de cono o lobulo de deslizamiento traslacional (Ddtr)).

Foto 23. Panorámica de cono o lóbulo de deslizamiento rotacional (Ddrt).



Fuente: el autor.

Foto 24. Panorámica de cono o lobulo de deslizamiento traslacional (Ddtr).

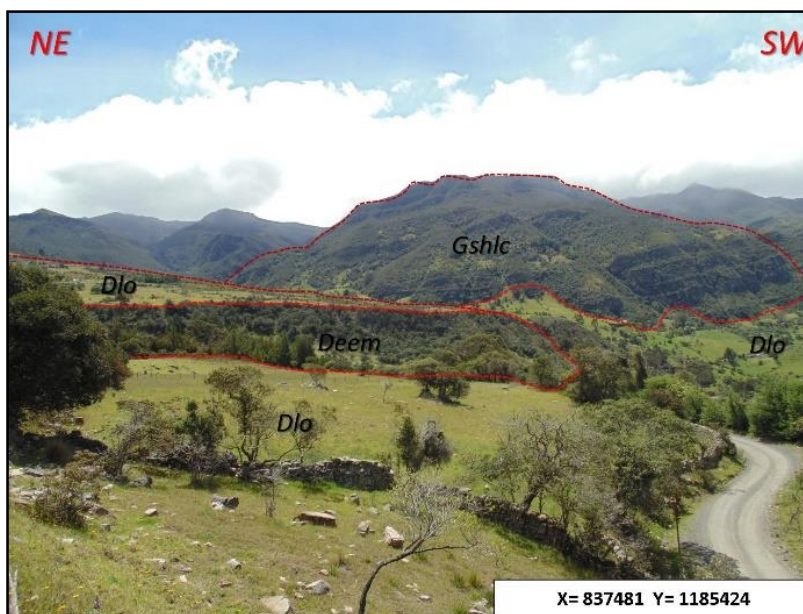


Fuente: el autor.

5.2.6 Escarpe de erosión mayor (Deem). Esta unidad se localiza en el sector del llano de La Mesa, en el municipio de La Uvita; se presenta sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras con foraminíferos bentánicos y planctónicos.

Esta unidad geomorfológica consiste en una ladera abrupta a desplome de altura variable, que puede formarse por distintas causas: tectónicas, por la abrasión (erosión fluvial y marina) o por procesos gravitacionales, glaciales, tectógenos, de longitud corta, de forma cóncava, con pendiente muy escarpada (ver foto 25. Panorámica de escarpe de erosión mayor (Deem)).

Foto 25. Panorámica de escarpe de erosión mayor (Deem).



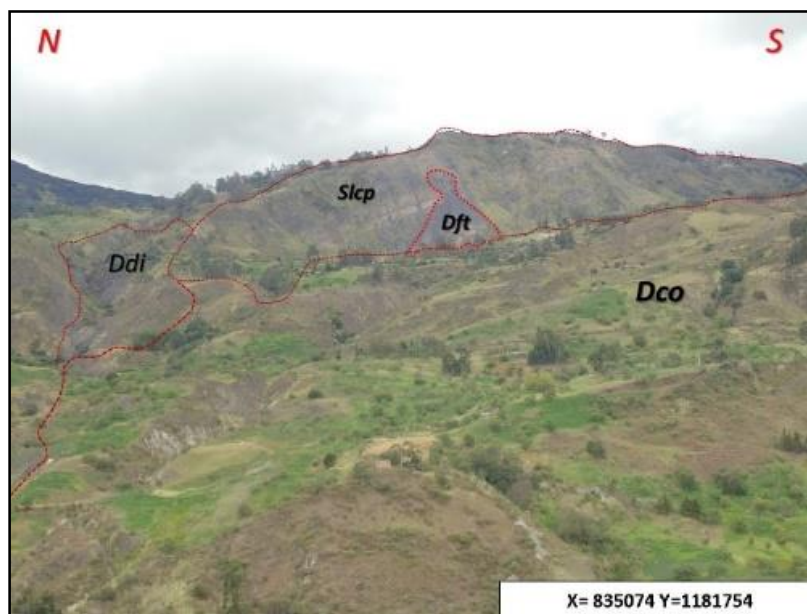
Fuente: el autor.

5.2.7 Cono o lóbulo de flujo indiferenciado (Dft). Esta unidad se localiza al sur del caserío Cusagui, a una distancia de 2,1 km, en el municipio de La Uvita; se presenta sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras con foraminíferos bentánicos y planctónicos.

Esta unidad geomorfológica consiste en una estructura en forma de abanico, de morfología alomada convexa, con una longitud muy larga, abrupta. El cuerpo despliega estructuras convexas de flujo en la parte frontal lobulada. Su origen está relacionado a avalanchas torrenciales inducidas posiblemente por eventos sísmicos o cambios climáticos asociados a lluvias torrenciales. Su depósito está constituido por bloques rocosos angulares a subredondeados, de tamaños métricos embebidos

en matriz arenosa arcillosa y por la acumulación de bloques en el frente de la onda (ver foto 26. Panorámica de cono o lóbulo de flujo indiferenciado (Dft)).

Foto 26. Panorámica de cono o lóbulo de flujo indiferenciado (Dft).



Fuente: el autor.

5.2.8 Loma denudada (Dld). Esta unidad se localiza en el sector de La Peña de los Leones, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Chipaque (Ksc), compuesta por lodolitas fisibles negras, un poco ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino.

Esta unidad geomorfológica consiste en una prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada, laderas cortas, convexas y pendientes muy inclinadas. Su origen está relacionado con procesos intensos de meteorización y erosión diferencial. Se caracteriza por presentar movimientos en masa y procesos erosivos intensos (ver foto 27. Panorámica de loma denudada (Dld)).

5.2.9 Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl). La unidad se localiza en el sector del Alto de Ventanas, en el municipio de Chita; se presenta sobre la formación Concentración (Teco), constituida por arcillas gris verdosas a negras y areniscas verdosas de grano fino a grueso; localmente, con capas de hierro colítico.

Esta unidad geomorfológica está compuesta por sistemas o conjuntos de lomos ubicados a diferentes alturas, con índice de relieve relativo menor a 250 m y longitud del eje principal mayor a 1000 m; son formas alargadas en dirección

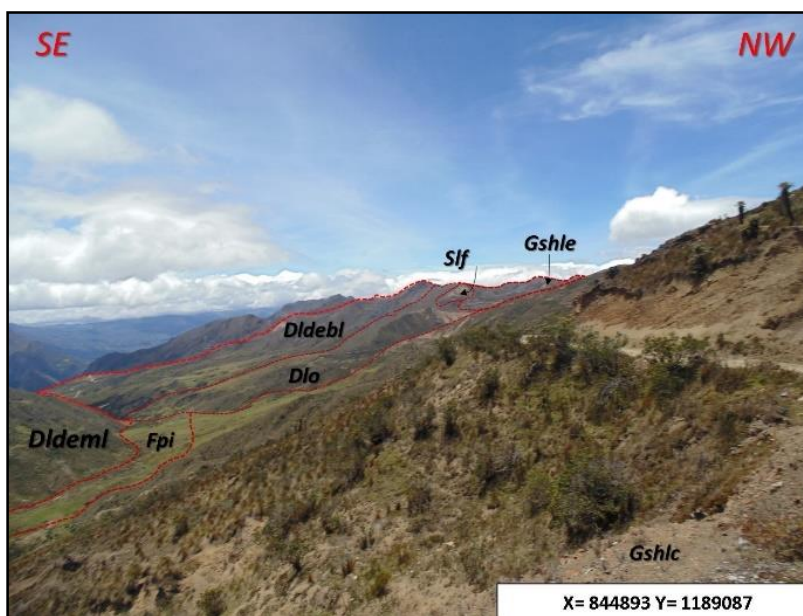
perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje (ver foto 28. Panorámica de lomo denudado de longitud larga (Dldebl)).

Foto 27. Panorámica de loma denudada (Dld).



Fuente: el autor.

Foto 28. Panorámica de lomo denudado de longitud larga (Dldebl).

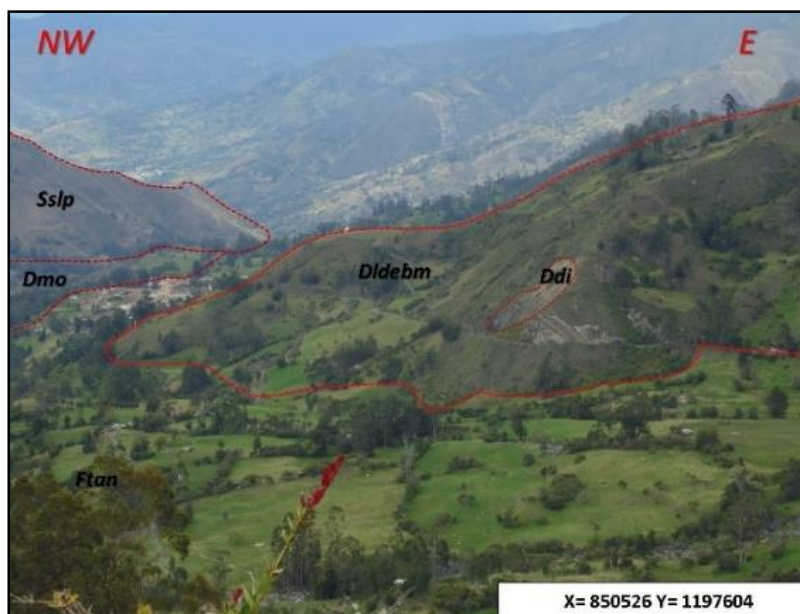


Fuente: el autor.

5.2.10 Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm). Esta unidad se localiza en el sector de La Laguna, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Chipaque (Ksc), compuesta por lodolitas fisibles negras, un poco ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino.

Esta unidad geomorfológica está compuesta por sistemas o conjuntos de lomos ubicados a diferentes alturas, con índice de relieve relativo menor a 250 m y eje principal con longitud de entre 250 m y 1000 m, con formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje (ver foto 29. Panorámica de lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm)).

Foto 29. Panorámica de lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm).

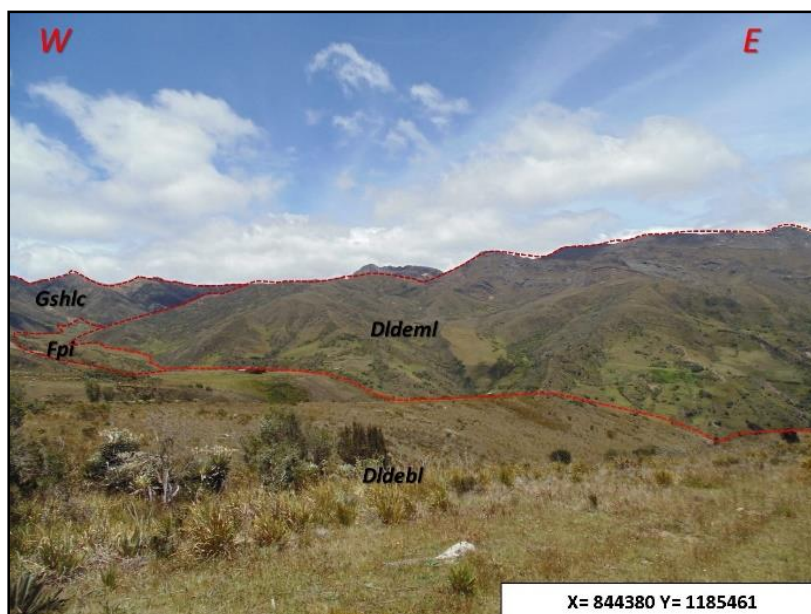


Fuente: el autor.

5.2.11 Lomo denudado moderado de longitud larga (Dldeml). La unidad se localiza en el sector Cortadera, en el municipio de Chita; se presenta sobre la formación Concentración (Teco), constituida por arcillas gris verdosas a negras y areniscas verdosas de grano fino a grueso; localmente, con capas de hierro colítico.

Esta unidad geomorfológica está compuesta por sistemas o conjuntos de lomos ubicados a diferentes alturas, con índice de relieve relativo de entre 250 m y 1000 m y longitud del eje principal mayor a 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal (ver foto 30. Lomo denudado moderado de longitud larga (Dldeml)).

Foto 30. Lomo denudado moderado de longitud larga (Dldeml).



Fuente: el autor.

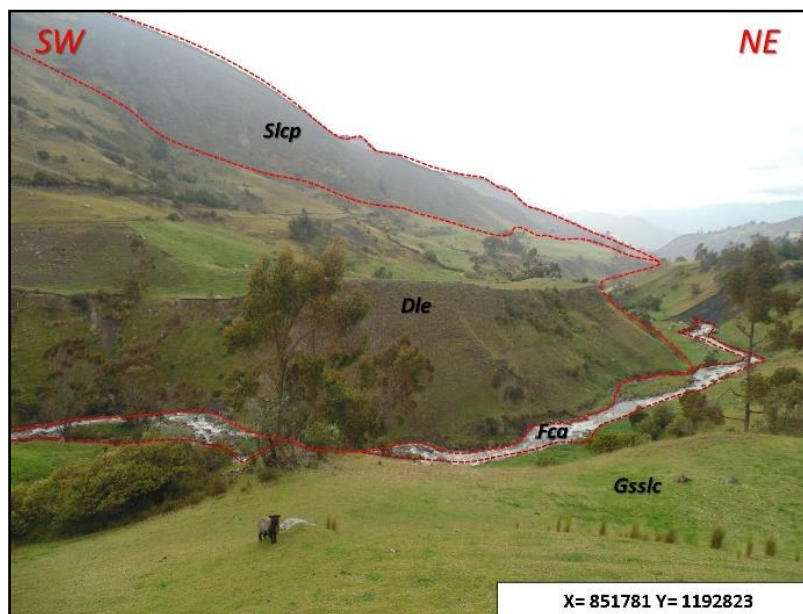
5.2.12 Ladera erosiva – Del. La unidad se localiza en el sector Laguna Verde, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras con foraminíferos bentánicos y planctónicos.

Esta unidad geomorfológica consiste en superficies de terreno de pendientes muy escarpadas, de longitud larga, de formas planas, cóncavas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta procesos erosivos intensos, como cárcavas, surcos y solifluxión, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura (ver foto 31. Panorámica de ladera erosiva (Dle)).

5.2.13 Ladera ondulada – Dlo. La unidad se localiza en el sector de la vereda Palchacual, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre un deposito glaciar sin diferenciar (Qgl), zona representada por depósitos glaciares sin formas morfológicas muy particulares; probablemente son morrenas de fondo, laterales y frontales completamente destruidas.

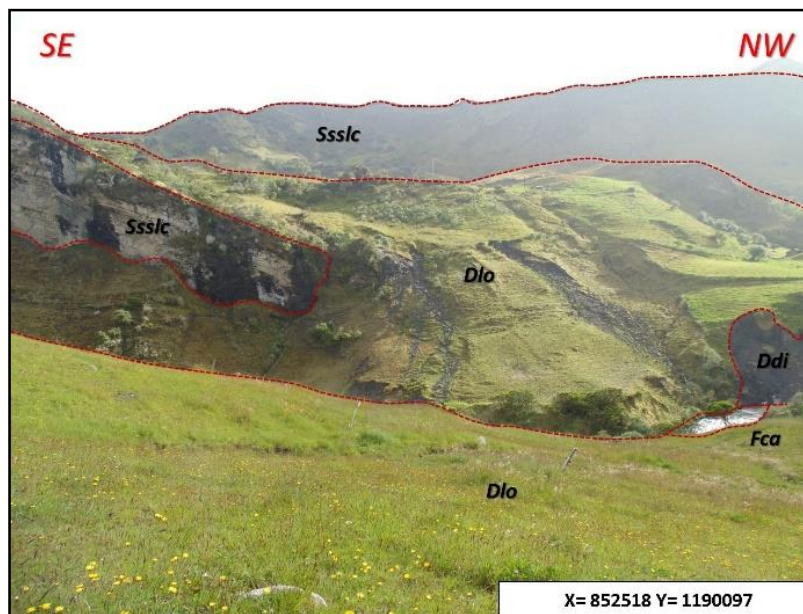
Esta unidad geomorfológica consiste en una superficie en declive, de morfología alomada, de pendiente inclinada, de longitud muy larga. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparelo. Estas laderas se pueden formar en suelos residuales y depósitos coluviales (ver foto 32. Panorámica de ladera ondulada (Dlo)).

Foto 31. Panorámica de ladera erosiva (Dle).



Fuente: el autor.

Foto 32. Panorámica de ladera ondulada (Dlo).



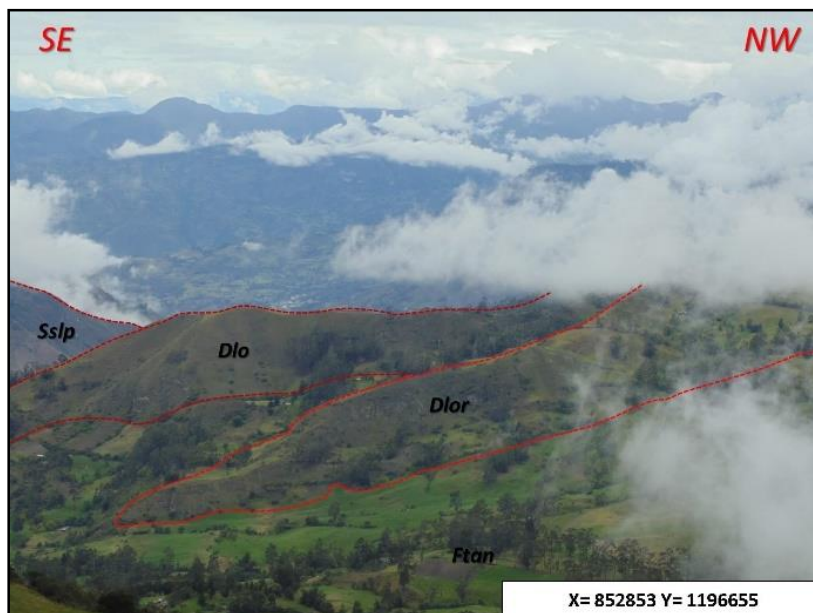
Fuente: el autor.

5.2.14 Loma residual (Dlor). La unidad se localiza en el sector del alto de La Cruz de Santa Ana, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación

Chipaque (Ksc), compuesta por lodolitas fisibles negras, un poco ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino.

Esta unidad geomorfológica consiste en una prominencia topográfica con una altura menor a 200 m sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada de laderas cortas, convexas y pendientes muy inclinadas, constituida por suelos residuales, cubiertos por niveles de material coluvial. Su origen está relacionado con procesos intensos de meteorización y erosión diferencial (ver foto 33. Panorámica de loma residual (Dlor)).

Foto 33. Panorámica de loma residual (Dlor).



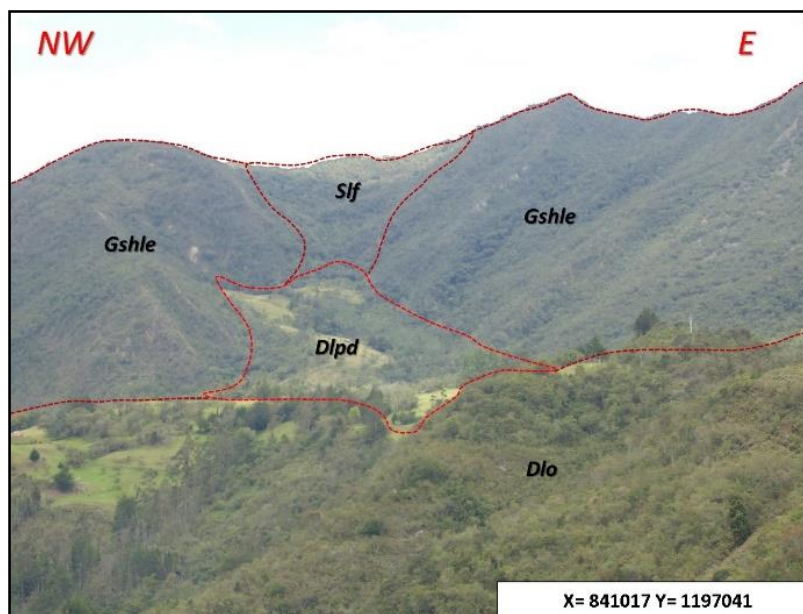
Fuente: el autor.

5.2.15 Lomeríos poco disectados (Dlpd). La unidad se localiza en el sector Los Rastrojitos, en el municipio de San Mateo; se presenta sobre un depósito fluvio-glacial (Qfg) compuesto por bloques y cantos angulares a subredondeados de cuarzo, que están constituidos, ya sea por material arcilloso (exclusivamente) o por bloques de areniscas, en una matriz areno-arcillosa.

Esta unidad geomorfológica consiste en prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas planas amplias y eventualmente redondeadas, de laderas muy cortas, de forma rectas, y eventualmente cóncavas, con pendientes inclinadas e índice de relieve bajo. En estos lomeríos, los procesos de incisión son muy leves y, generalmente, estas unidades se encuentran en áreas centrales de altiplanos o alejadas de los frentes erosivos. Son frecuentes procesos erosivos y

reptación y, eventualmente, movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional (ver foto 34. Panorámica de lomeríos poco disectados (Dlpd)).

Foto 34. Panorámica de lomeríos poco disectados (Dlpd).



Fuente: el autor.

5.2.16 Lomo residual (Dlres). La unidad se localiza en el sector del Alto El Relado, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Concentración (Teco), constituida por arcillas gris verdosas a negras y areniscas verdosas de grano fino a grueso; localmente, con capas de hierro colítico.

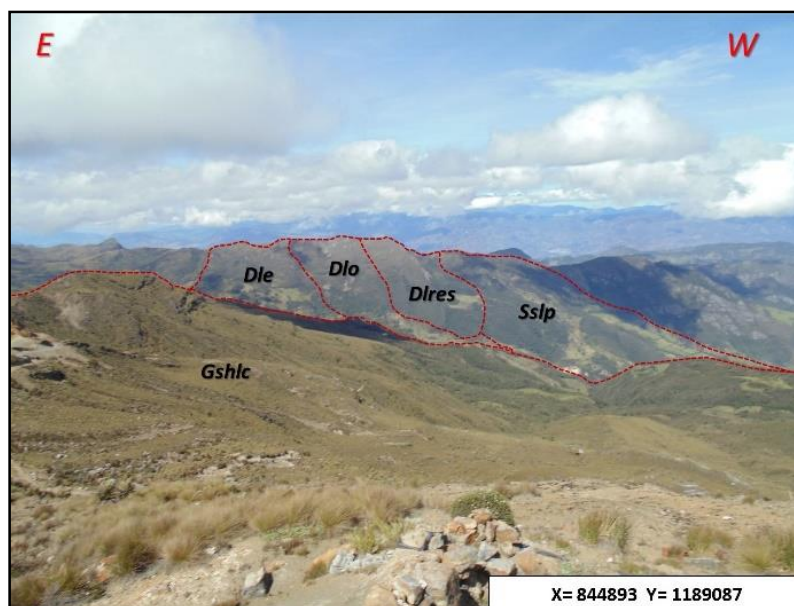
Esta unidad geomorfológica consiste en una elevación del terreno menor a 200 m, con morfología alomada y alargada, laderas cortas, cóncavas y pendientes muy inclinadas y con drenaje dendrítico, desarrollada de manera general sobre materiales afectados por meteorización diferencial intensa (ver foto 35. Panorámica de lomo residual (Dlres)).

5.2.17 Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo). La unidad se localiza al oeste del caserío Cusagui, en el municipio de La Uvita; se presenta sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras, con foraminíferos bentánicos y planctónicos, y sobre la formación Chipaque (Ksc), compuesta por lodolitas fisibles negras, un poco ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino.

Esta unidad geomorfológica consiste en la elevación del terreno con una altura menor a 50 m sobre su nivel de base local, con una morfología colinada, convexa, suavemente

inclinada y con drenaje divergente. Su origen está relacionado con procesos de meteorización y erosión intensa sobre rocas blandas o friables y en sedimentos no consolidados, dispuestos de manera horizontal a ligeramente inclinados (ver foto 36. Panorámica de montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)).

Foto 35. Panorámica de lomo residual (Dlres).



Fuente: el autor.

Foto 36. Panorámica de montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo).



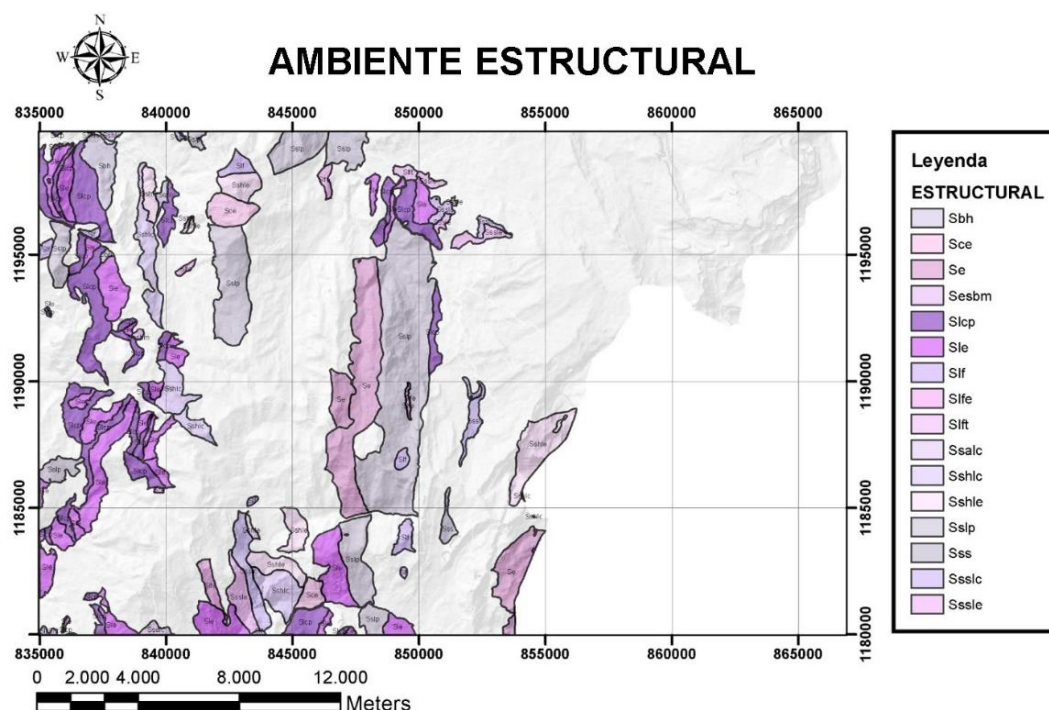
Fuente: el autor.

5.3 AMBIENTE ESTRUCTURAL⁷⁹

En este ambiente se presentan las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociándose principalmente a plegamientos y fallamientos de las rocas, cuya expresión geomorfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades.

Se presenta un mapa de sectorización para definir el ambiente estructural y su zona ocupada en el área de estudio, mostrando una mayor presencia hacia las zonas centro y noroeste (ver figura 37. Distribución geográfica del ambiente estructural en el área de estudio).

Figura 37. Distribución geográfica del ambiente estructural en el área de estudio.



Fuente: el autor.

Se dividió el ambiente estructural en la totalidad de sus unidades geomorfológicas, en las cuales se categorizó por extensión de área en km² y porcentaje (%), con respecto a la totalidad del área ocupada por el ambiente (ver tabla 14. Unidades geomorfológicas por área y porcentaje, ambiente estructural), que fue representada de manera gráfica en el diagrama circular de la figura 38. Representación área de las unidades de ambiente estructural (ver).

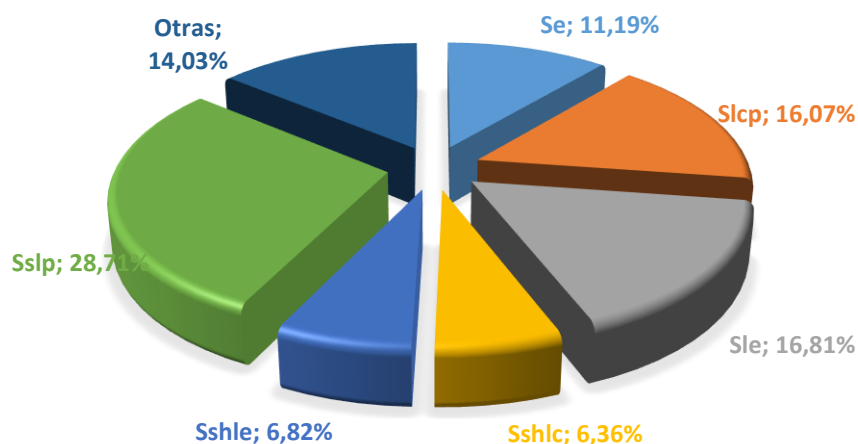
⁷⁹ Ibídem.

Tabla 14. Unidades geomorfológicas por área y porcentaje, ambiente estructural.

NOMBRE	SÍMBOLO	ÁREA (KM2)	ÁREA (%)
Espinazo	Se	15.536.192,76	11,194%
Ladera contrapendiente	Slcp	22.306.802,86	16,072%
Ladera estructural	Sle	23.337.462,00	16,814%
Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal	Sshlc	8.827.941,57	6,360%
Ladera estructural de sierra homoclinal	Sshle	9.465.403,27	6,820%
Sierras y lomos de presión	Sslp	39.846.196,32	28,708%
Área correspondiente a unidades de área porcentaje inferior a 5%	Otras	19.476.294,22	14,032%
TOTAL		138.796.292,99	100%

Fuente: el autor.

Figura 38. Representación área de las unidades de ambiente estructural.



Fuente: el autor.

La unidad de tipo local que predomina en el área de estudio referente a las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C en el ambiente estructural es de sierras y lomos de presión (Sslp), presentando un 28,71% del área total, a la que le sigue la ladera estructural (Sle), con un área de 16,81% e, inmediatamente a ésta, con un porcentaje cercano, se presenta la ladera en contrapendiente (Slcp), con un porcentaje de 16,07%; ladera estructural de sierra homoclinal tiene 6,82%, ladera contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc) tiene 6,36% y, por último, las unidades estructurales que no consiguieron un porcentaje superior a 5% fueron ubicadas en la categoría otras, presentando un porcentaje de 14,03% en conjunto.

5.3.1 Barra homoclinal (Sbh). La unidad se ubica en el sector Península Veracruz, en el municipio de San Mateo; se presenta sobre la Formación Une-

Aguardiente (Kia), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas, con delgadas intercalaciones de areniscas finas y lodolitas oscuras, a veces carbonosas, y sobre la formación Tibú-Mercedes (Kitm), compuesta por bancos macizos de calizas biotriticas, con lamelibrachios; en su parte media intercalaciones de lodolitas oscuras a rojas y bancos de arenisca de grano fino.

La unidad geomorfológica consiste en un sistema de lomas alargadas, paralelas y dentadas, constituidas por estratos que pueden corresponder a dos o más tipos de rocas sedimentarias, con una inclinación mayor a 70° (ver foto 37. Panorámica de barra homoclinal (Sbh)).

Foto 37. Panorámica de barra homoclinal (Sbh).



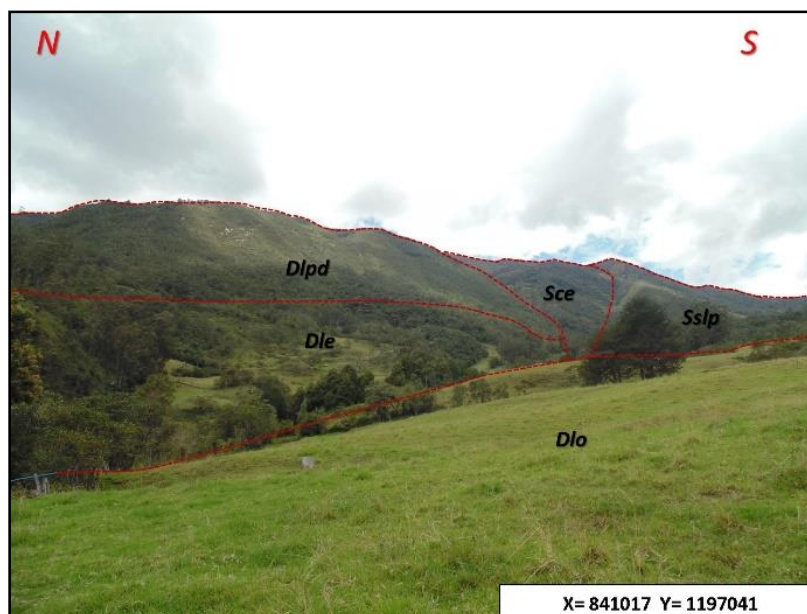
Fuente: el autor.

5.3.2 Cerro estructural (Sce). La unidad se localiza en el sector Providencia, en el municipio de San Mateo; se presenta sobre la formación Areniscas de Socha (Tpars), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas y sublíticas, de grano medio a grueso, con intercalaciones de lodolitas negras y areniscas finas oscuras.

Esta unidad geomorfológica consiste en una prominencia topográfica aislada de morfología montañosa, con laderas de longitud moderadamente larga, cóncavas, poco disectadas.

La unidad presenta pendientes muy abruptas a escarpadas, que han sido parcialmente aisladas de las zonas montañosas por fallamiento (ver foto 38. Panorámica de cerro estructural (Sce)).

Foto 38. Panorámica de cerro estructural (Sce).



Fuente: el autor.

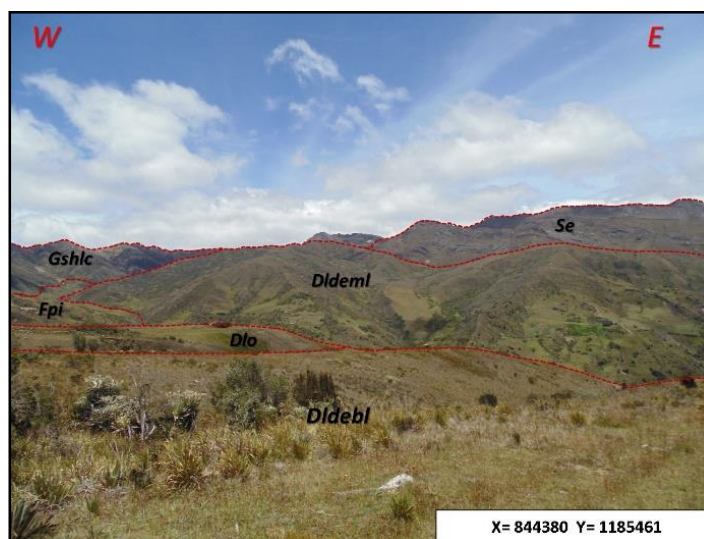
5.3.3 Espinazo (Se). La unidad se localiza en el sector del morro de La Lagunita, en el municipio de Chita; se presenta sobre la formación Picacho (Tep), constituida por areniscas blancas, líticas de grano medio, con delgadas intercalaciones de lutitas verdosas y areniscas finas; sobre la formación Arcillas de Socha (Tpas), compuesta principalmente por lodolitas fisiles de color claro, verdosas o amarillentas, con intercalaciones de areniscas líticas; sobre la formación Areniscas de Socha (Tpars), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas y sublíticas, de grano medio a grueso, con intercalaciones de lodolitas negras y areniscas finas oscuras, y sobre la formación Guaduas (Tkg), compuesta por lodolitas fisibles grises y negras con frecuentes intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino.

La unidad geomorfológica consiste en una sierra simétrica o asimétrica, elongada, de cresta aguda, definida por la intercalación de estratos de unidades con diferente resistencia, dispuestos en ladera estructural, en un patrón escalonado de planchas o chevrones, labrados por la escorrentía (ver foto 39. Panorámica de espinazo (Se)).

5.3.4 Espolón bajo de longitud media (Sesbm). La unidad se localiza en el sector del alto Canutal, en el municipio de La Uvita; se presenta sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras con foraminíferos bentánicos y planctónicos.

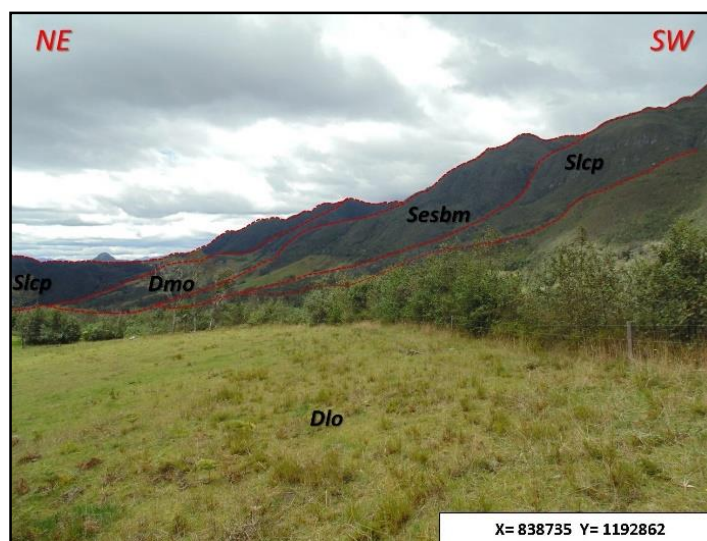
La unidad geomorfológica consiste en una saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, desarrollada sobre rocas sedimentarias y limitada por drenajes paralelos a subparalelos, con laderas de longitudes variables y con pendientes que se ven reducidas de abruptas a inclinadas por intensos procesos denudativos. La particularidad de esta unidad radica en que el relieve relativo es menor a 250 m y la longitud del eje principal del espolón varía entre 250 m y 1000 m (ver foto 40).

Foto 39. Panorámica de espinazo (Se).



Fuente: el autor.

Foto 40. Panorámica de espolón bajo de longitud media (Sesbm).



Fuente: el autor.

La unidad geomorfológica consiste en una superficie en declive, de morfología irregular, definida por planos (estratos, foliación, diaclasamiento, entre otros), dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. Se presenta con longitud larga y con pendientes muy escarpadas. Esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros) (ver foto 41. Panorámica de ladera contrapendiente (Slcp)).

N

S

Slcp

Dft

Dco

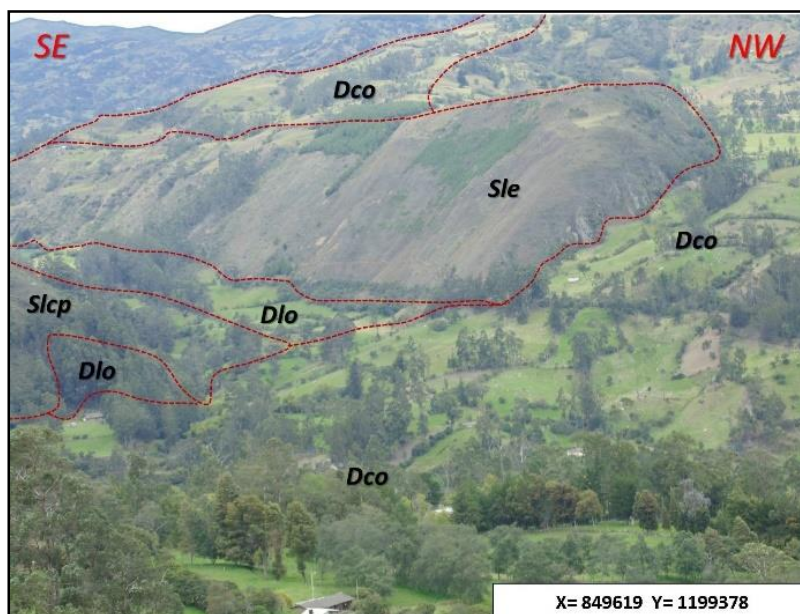
X= 837200 Y= 1180418

5.3.6 Ladera estructural (Sle). La unidad se localiza en el sector de La Isla, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Chipaque (Ksc), compuesta por lodolitas fisibles negras, un poco ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino.

La unidad geomorfológica consiste en una superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento, entre otros) a favor de la pendiente del terreno, de longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas. Esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal,

sinclinal, monoclinal, entre otros) (ver foto 42. Panorámica de ladera estructural (Sle)).

Foto 42. Panorámica de ladera estructural (Sle).



Fuente: el autor.

5.3.7 Lomo de falla (Slf). La unidad se localiza en el sector Boquerón del Chorro, en el límite inferior del municipio de El Cocuy con el municipio de Chita; se presenta sobre la formación Arenisca Tierna (Ksat), compuesta por areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso, con delgadas intercalaciones de lodolitas y areniscas de grano fino oscuras.

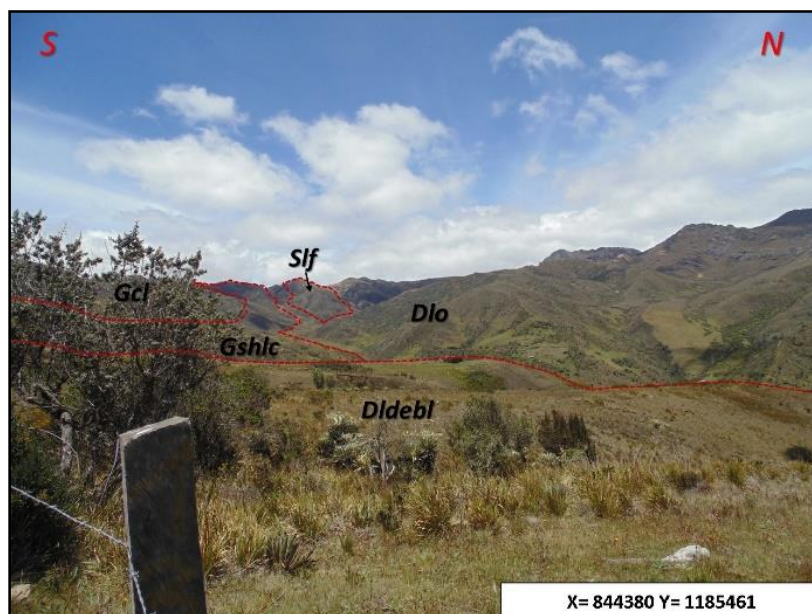
La unidad geomorfológica consiste en una prominencia topográfica de morfología alomada, con laderas cortas, forma convexa y pendiente abrupta y escarpada, localizados a lo largo de una falla de rumbo y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que determina la expulsión de un bloque de terreno. Se caracteriza por su alto fracturamiento y estructuras de tipo flor positiva (Ver foto 43. Panorámica de lomo de falla (Slf)).

5.3.8 Escarpe de línea de falla (Slfe). La unidad se localiza en el sector de La Meseta, en el municipio de Chita; se presenta sobre la formación Los Pinos (Kslp), compuesta por lodolitas fisibles, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino con grano silíceo.

La unidad geomorfológica consiste en un plano subvertical corto, cóncavo, de pendiente abrupta. Su origen se relaciona con las superficies definidas por el

truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada.

Foto 43. Panorámica de lomo de falla (Slf).



Fuente: el autor.

5.3.9 Lomo de falla con faceta triangular (Slft). La unidad se localiza en el sector Los Arrayanes, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación Arcillas de Socha (Tpas), compuesta principalmente por lodolitas fisiles de color claro, verdosas o amarillentas, con intercalaciones de areniscas líticas.

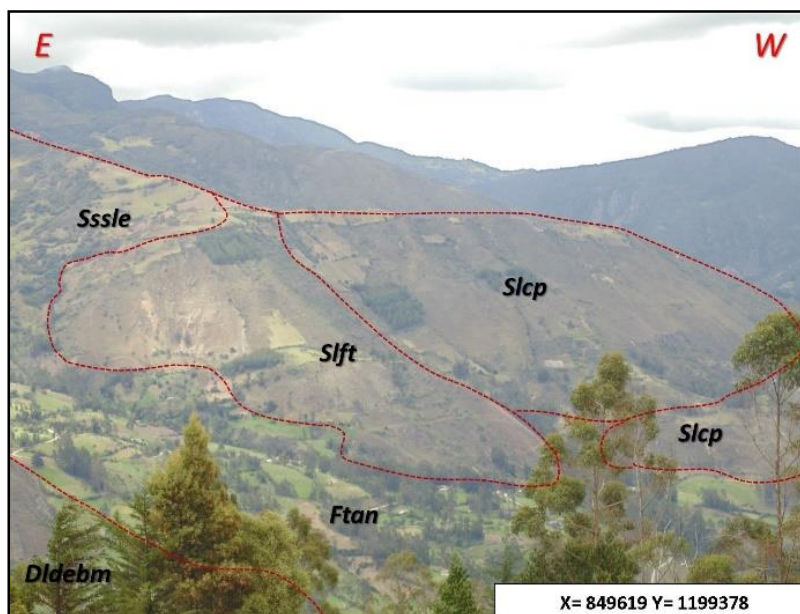
La unidad geomorfológica consiste en una prominencia topográfica elongada, paralela a un sistema de falla, con laderas muy inclinadas y forma triangular. Su origen está relacionado con el truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso (ver foto 44. Panorámica de lomo de falla con faceta triangular (Slft)).

5.3.10 Ladera de contrapendiente sierra anticlinal (Ssalc). La unidad se localiza en el sector del filo Cercalarga, en el municipio de Chita; se presenta sobre un deposito coluvial (Qc), compuesto por cantos de diferentes tamaños, dentro de una matriz no consolidada de arenas y arcillas.

La unidad geomorfológica consiste en una superficie subvertical corta, de forma irregular, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, desarrollada en la ladera estructural o en la zona de charnela de

una sierra anticlinal, debido a la acción de procesos de erosión, meteorización o tectonismo que cortan y moldean la estructura original.

Foto 44. Panorámica de lomo de falla con faceta triangular (Slft).



Fuente: el autor.

5.3.11 Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc). La unidad se localiza en el sector de El Salitre, en el municipio de San Mateo; se presenta sobre la formación Los Pinos (Kslp), compuesta por lodolitas fisibles, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino con grano silíceo, y sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras con foraminíferos bentánicos y planctónicos.

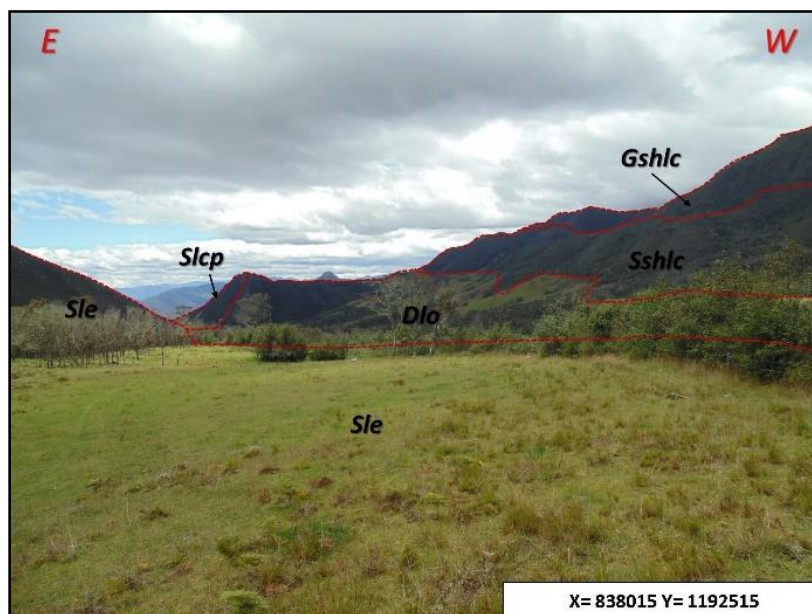
La unidad geomorfológica consiste en una superficie subvertical, moderadamente larga, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una sierra homoclinal (ver foto 45. Ladera contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)).

5.3.12 Ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle). La unidad se localiza en el sector conocido como San Antonio, en el municipio de San Mateo; se presenta sobre la formación Guaduas (Tkg), compuesta por lodolitas fisibles grises y negras con frecuentes intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino.

La unidad geomorfológica consiste en una superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente, de longitud moderada larga, formas convexas

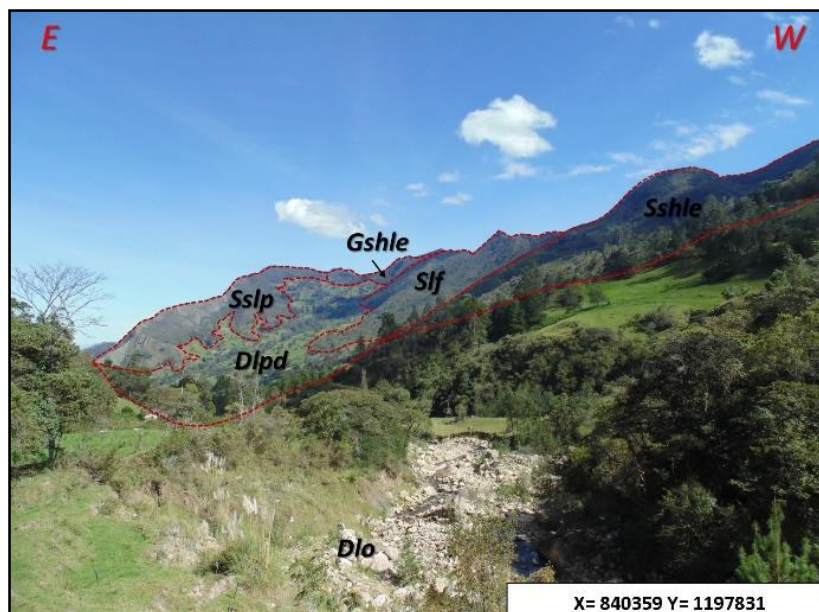
y pendientes escarpadas, relacionada con una estructura homoclinal (ver foto 46. Panorámica de ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle)).

Foto 45. Ladera contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc).



Fuente: el autor.

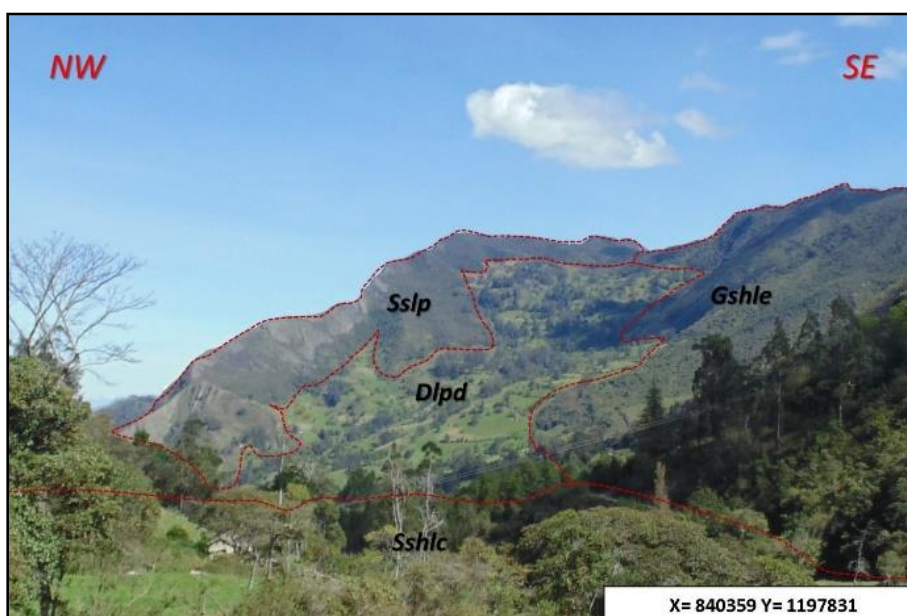
Foto 46. Panorámica de ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle).



Fuente: el autor.

5.3.13 Sierras y lomos de presión (Sslp). La unidad se localiza en el sector Providencia, del municipio de San Mateo; se presenta sobre la formación Areniscas de Socha (Tpars), compuesta principalmente por areniscas cuarzosas y sublíticas, de grano medio a grueso, con intercalaciones de lodolitas negras y areniscas finas oscuras. La unidad geomorfológica consiste en una prominencia topográfica alomada y elongada; localmente, curva; asociada a zonas compresivas. Su origen está relacionado con el truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso (ver foto 47. Sierras y lomos de presión (Sslp), sector Providencia).

Foto 47. Sierras y lomos de presión (Sslp), sector Providencia.



Fuente: el autor.

5.3.14 Sierra sinclinal (Sss). La unidad se localiza en el sector conocido como Hoyo de Arena, en el municipio de Chita; se presenta sobre la formación Arenisca Tierna (Ksat), compuesta por areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso, con delgadas intercalaciones de lodolitas y areniscas de grano fino oscuras. La unidad geomorfológica consiste en una prominencia topográfica en forma de artesa, formada en el eje de un sinclinal, limitada por laderas de contrapendiente. La disposición actual obedece a procesos denudativos diferenciales que han desmantelado los flancos de la estructura invirtiendo el relieve original.

5.3.15 Ladera de contrapendiente sierra sinclinal (Ssslc). La unidad se localiza en el sector del cerro El Tablón, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras con

foraminíferos bentánicos y planctónicos. La unidad geomorfológica consiste en una superficie vertical a subvertical corta, de forma escalonada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada al flanco de una sierra sinclinal (ver foto 48. Panorámica de ladera contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc)).

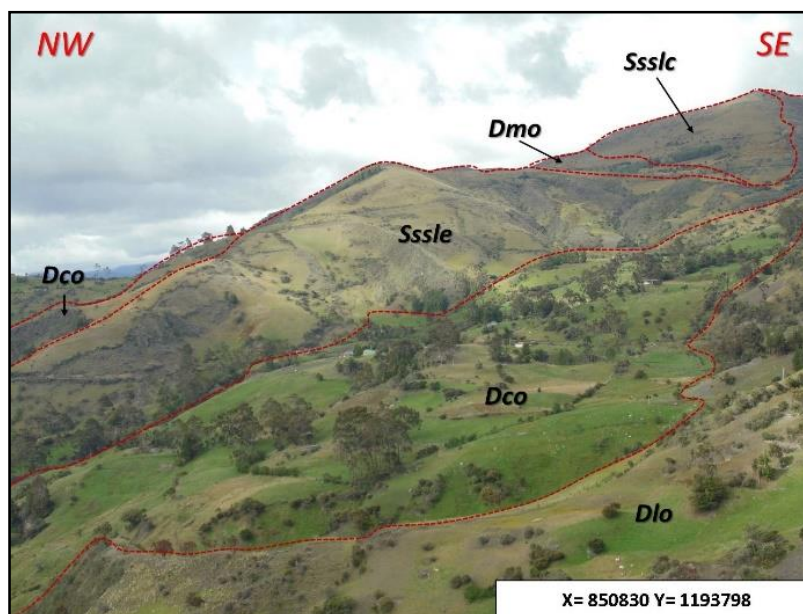
Foto 48. Panorámica de ladera contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc).



Fuente: el autor.

5.3.16 Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle). La unidad se localiza en el sector Palchacual, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre la formación La Luna (Ksl), compuesta por cherts negros y calizas oscuras, con foraminíferos bentánicos y planctónicos. La unidad geomorfológica consiste en una superficie definida por estratos inclinados a favor de la pendiente del terreno, conformando una artesa de longitud moderadamente larga, forma cóncava y pendientes inclinadas, relacionada al flanco de una estructura sinclinal (ver foto 49. Panorámica de ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle)).

Foto 49. Panorámica de ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle).



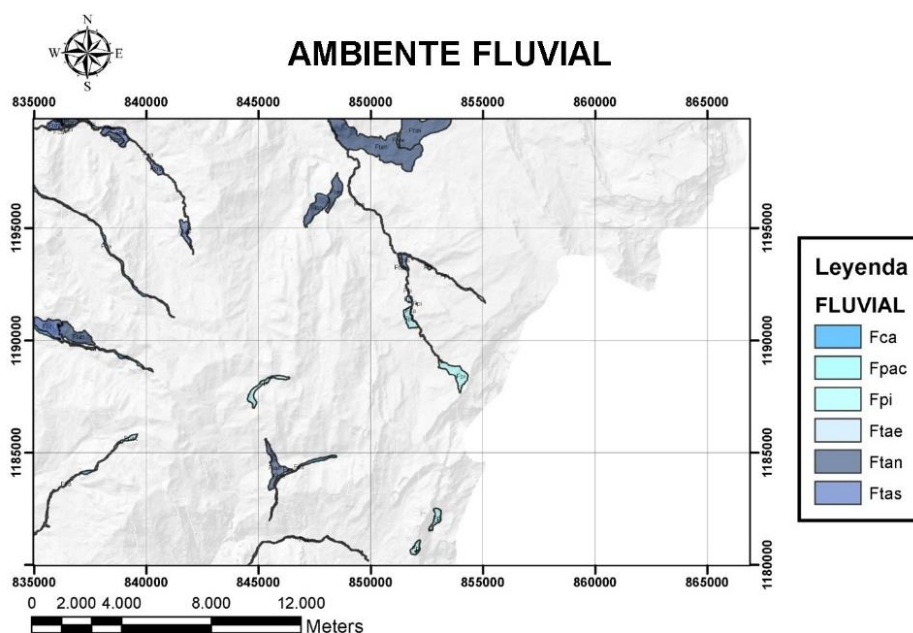
Fuente: el autor.

5.4 AMBIENTE FLUVIAL Y LAGUNAR

En este ambiente se incluyen las geoformas originadas por procesos de erosión de las corrientes correspondientes a ríos; por acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, o por la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar unidades aledañas a los ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando estas pierden su capacidad de arrastre.

Se presenta un mapa de sectorización, para definir el ambiente fluvial y su zona ocupada en el área de estudio, áreas de extensión larga, pero baja amplitud, siendo este uno de los ambientes con menor extensión ocupada en el área (ver figura 39. Distribución geográfica del ambiente fluvial en el área de estudio).

Figura 39. Distribución geográfica del ambiente fluvial en el área de estudio.



Fuente: el autor.

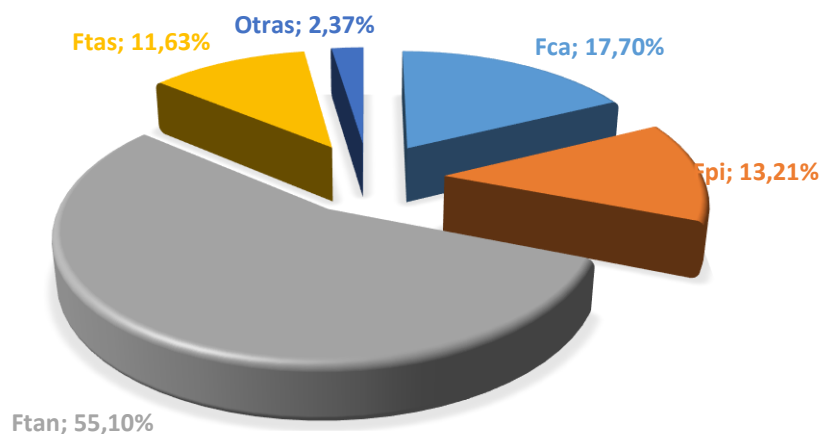
Se dividió el ambiente fluvial en la totalidad de sus unidades geomorfológicas, en las que se categorizó por extensión de área en km² y porcentaje (%), con respecto a la totalidad del área ocupada por el ambiente (ver tabla 15. Unidades geomorfológicas por área y porcentaje, ambiente fluvial), que fue representada de manera gráfica en el diagrama circular de la figura 40. Representación área de las unidades de ambiente fluvial (ver).

Tabla 15. Unidades geomorfológicas por área y porcentaje, ambiente fluvial

NOMBRE	SÍMBOLO	ÁREA	ÁREA (%)
Cauce aluvial	Fca	2.899.231,84	17,697%
Plano o llanura de inundación	Fpi	2.164.082,02	13,210%
Terraza de acumulación antigua	Ftan	9.026.092,92	55,097%
Terraza de acumulación sub-reciente	Ftas	1.904.744,28	11,627%
Área correspondiente a unidades de area porcentaje inferior a 5%	Otras	388.093,26	2,369%
TOTAL		16.382.244,32	100%

Fuente: el autor.

Figura 40. Representación área de las unidades de ambiente fluvial.



Fuente: el autor.

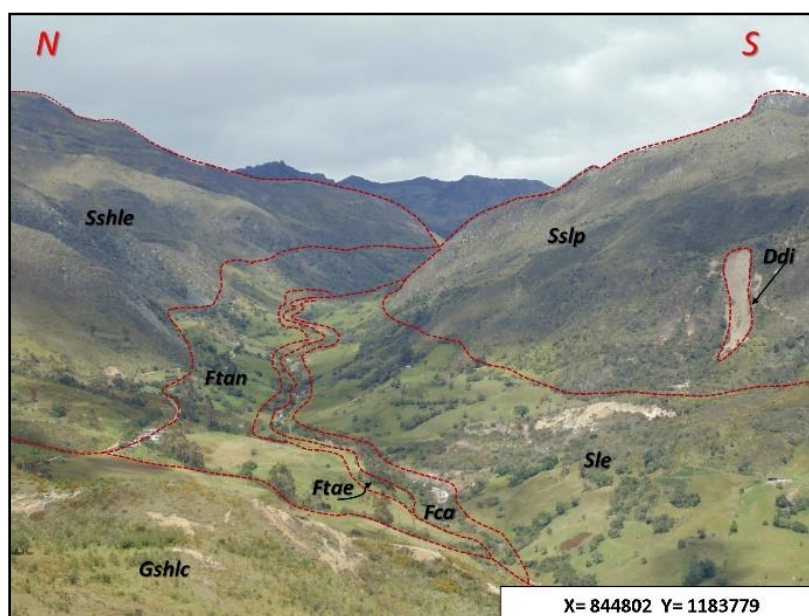
La unidad de tipo local que predomina en el área de estudio referente a las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C en el ambiente fluvial es la terraza de acumulación antigua (Ftan), presentando un 55,10% del área total de dicho ambiente a su favor, seguido del cauce aluvial (Fca), con un 17,70% del área. A éste le sigue el plano o llanura de inundación, con 13,21%; la terraza de acumulación sub-reciente (Ftas), con un 11,63%, y los ambientes restantes ocupan un 2,37%.

5.4.1 Cauce aluvial (Fca)⁸⁰. La unidad se localiza en la vereda Cortadera, del municipio de Chita; se presenta sobre un deposito aluvial (Qal), compuesto por bloques redondeados y subredondeados, especialmente arenisca y caliza, en una matriz no consolidada de arenas y arcillas. La unidad geomorfológica consiste en un canal de forma irregular, excavado por erosión de las corrientes perennes o

⁸⁰ Ibídem.

estacionales y sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas. Estos cauces, cuando recorren grandes distancias, pueden formar lagunas y rápidos. Cuando las corrientes fluyen en zonas semiplanas a planas (llanura aluvial), los cauces son de tipo meándrico o divagante, como producto del cambio súbito de la dirección del flujo. Dependiendo de la cantidad de carga de sedimentos, la pendiente y caudal pueden llegar a formar sistemas anastomosados, trenzados, divergentes y otras unidades asociadas (ver foto 50. Panorámica de cauce aluvial (Fca)).

Foto 50. Panorámica de cauce aluvial (Fca).



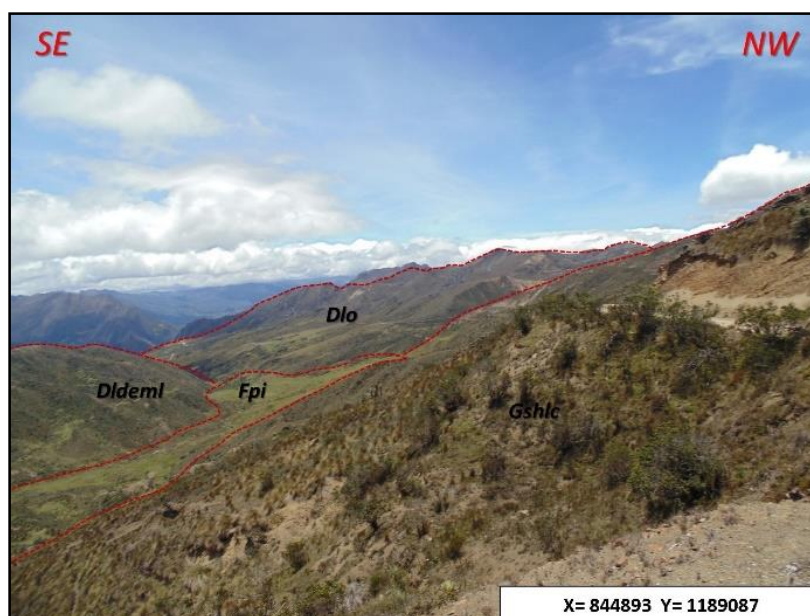
Fuente: el autor.

5.4.2 Planicie aluvial confinada (Fpac). La unidad se localiza en el sector La Baticola, en el municipio de La Uvita; se presenta sobre la formación Chipaque (Ksc), compuesta por lodolitas fisibles negras, un poco ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarzosas de grano fino. La unidad geomorfológica consiste en una franja de terreno de morfología plana, muy angosta, eventualmente inundable, en forma de “U”, limitada por otras geoformas de morfología colinada, alomada y montañosa, que bordea los cauces fluviales, en los que se observa el estrangulamiento o estrechamiento del mismo. Está constituida por material aluvial (arenas, limos y arcillas).

5.4.3 Plano o llanura de inundación (Fpi). La unidad se localiza en el sector El Verde, en el municipio de Chita; se presenta sobre un depósito aluvial (Qal),

compuesto por bloques redondeados y subredondeados, especialmente arenisca y caliza, en una matriz no consolidada de arenas y arcillas. La unidad geomorfológica consiste en una superficie de morfología plana, baja y ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitada localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de “U” o “V”, al igual que los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. En regiones montañosas, donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal, en red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad, se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial (ver foto 51. Panorámica de plano o llanura de inundación (Fpi)).

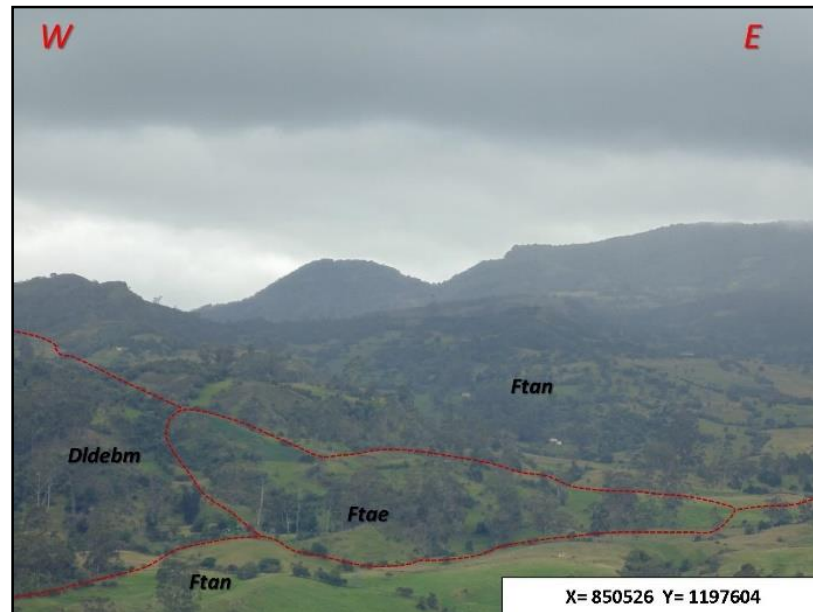
Foto 51. Panorámica de plano o llanura de inundación (Fpi).



Fuente: el autor.

5.4.4 Escarpe de terraza de acumulación (Ftae). La unidad se localiza en el sector Mojones, en el municipio de El Cocuy; se presenta sobre un depósito fluvio-glacial (Qfg), compuesto por bloques y cantos angulares a subredondeados de cuarzo, que están constituidos, ya sea por material arcilloso (exclusivamente) o por bloques de areniscas, en una matriz areno-arcillosa. La unidad geomorfológica consiste en un plano subvertical, escalonado, excavado en sedimentos aluviales que bordean las terrazas de acumulación. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce (ver foto 52. Panorámica de escarpe de terraza de acumulación (Ftae)).

Foto 52. Panorámica de escarpe de terraza de acumulación (Ftae).



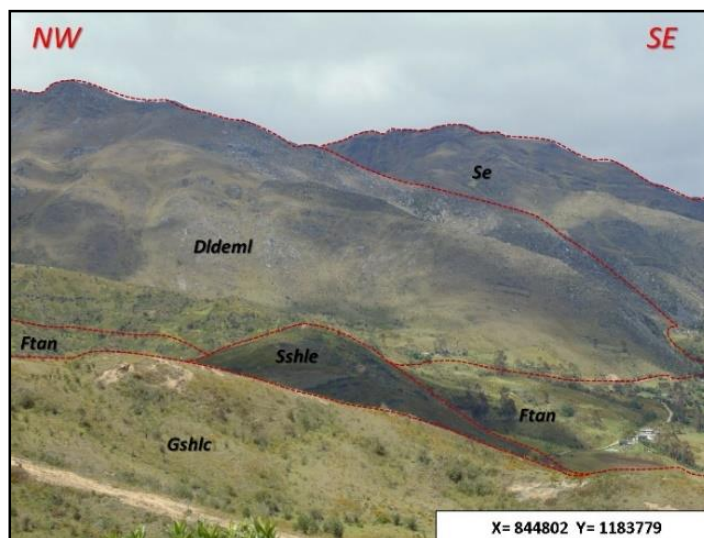
Fuente: el autor.

5.4.5 Terraza de acumulación antigua (Ftan). La unidad se localiza en el sector Cortadera, en el municipio de Chita; se presenta sobre un depósito aluvial (Qal), compuesto por bloques redondeados y subredondeados, especialmente arenisca y caliza, en una matriz no consolidada de arenas y arcillas. La unidad geomorfológica consiste en una superficie alomada en forma de abanico, de extensión kilométrica y laderas moderadamente largas y convexas. Se caracteriza por presentar pendientes de 5° a 10° en las partes altas, limitadas por escarpes de disección en forma de “V” que localmente pueden alcanzar inclinaciones de 20°. De manera general, su origen está relacionado con la disección y tectonismo de abanicos y planicies aluviales antiguas (ver foto 53. Panorámica de terraza de acumulación antigua (Ftan)).

5.4.6 Terraza de acumulación sub-reciente (Ftas). Esta unidad está localizada en el sector El Reposo, en el municipio de San Mateo; se presenta sobre un depósito fluvio-glacial (Qfg), compuesto por bloques y cantos angulares a subredondeados de cuarzo, que están constituidos, ya sea por material arcilloso (exclusivamente) o por bloques de areniscas en una matriz areno-arcillosa. La unidad geomorfológica consiste en una superficie suavemente inclinada, remanente de terrazas sub-recientes de morfología ondulada, disectadas, localmente basculadas, con inclinaciones de entre 3° y 5°, aunque algunos sectores pueden alcanzar los 10° donde se presenta limitada por escarpes de 5 a 20 m. Su origen está relacionado con la ampliación del valle de un río, al ganar importancia la erosión en sus márgenes. La superficie de la anterior llanura aluvial queda adosada a las márgenes

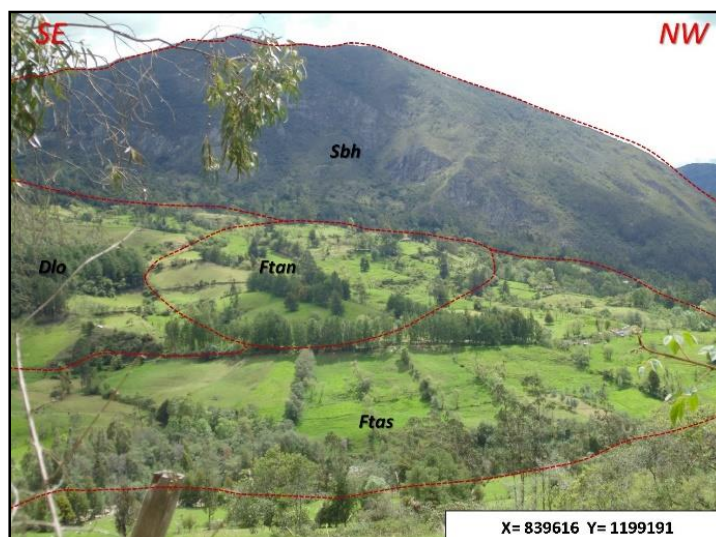
del valle en forma de escalón o resalte topográfico que define la terraza. Pueden estar cubiertas por suelos arcillosos fluviales. Su depósito está constituido por arenas, arcillas e intercalaciones locales de grava fina (Ver foto 54. Panorámica de terraza de acumulación sub-reciente (Ftas)).

Foto 53. Panorámica de terraza de acumulación antigua (Ftan).



Fuente: el autor.

Foto 54. Panorámica de terraza de acumulación sub-reciente (Ftas).



Fuente: el autor.

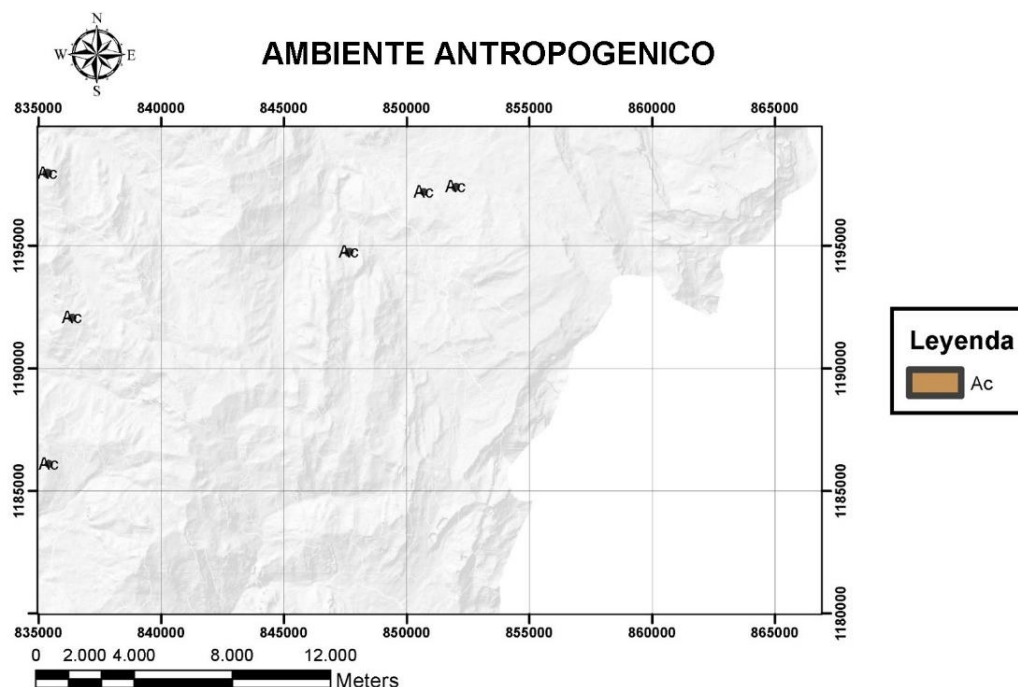
5.5 AMBIENTE ANTROPOGÉNICO

En este ambiente se incluyen las geoformas originadas como producto de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras ingenieriles, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, modificando la morfología natural.

Se presenta un mapa de sectorización para definir el ambiente antropogénico y su zona ocupada en el área de estudio, ambiente que ocupa la menor extensión de área, siendo en el total de la zona un 0,004%. Adicionalmente, no presenta variedad de geoformas correspondientes a este ambiente y sólo se presenta la geoforma *cantera*, por lo que se decide clasificarlas por área ocupada, definiendo la de mayor extensión en términos más específicos (ver figura 41. Distribución geográfica del ambiente antropogénico, área estudio).

Del mismo modo, se dividió el ambiente antropogénico en la totalidad de canteras presentes en el área de estudio, que fueron clasificadas por extensión de explotación (ver tabla 16. Unidades geomorfológicas por canteras representativas, ambiente antropogénico), y representadas de manera gráfica en el diagrama circular (ver figura 42. Gráfico de canteras representativas del sector).

Figura 41. Distribución geográfica del ambiente antropogénico, área estudio.



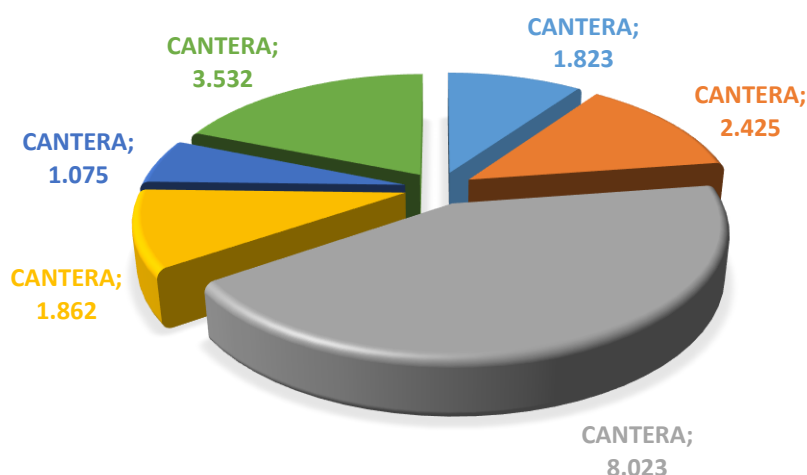
Fuente: el autor.

Tabla 16. Unidades geomorfológicas por canteras representativas, ambiente antropogénico.

NOMBRE	SÍMBOLO	ÁREA (Km ²)
Cantera	Ac	1,823
Cantera	Ac	2,425
Cantera	Ac	8,023
Cantera	Ac	1,862
Cantera	Ac	1,075
Cantera	Ac	3,532
TOTAL		18,739

Fuente: el autor.

Figura 42. Gráfico de canteras representativas del sector



Fuente: el autor.

En este ambiente no se presentan distintas unidades geomorfológicas, en relación con el ser humano, por lo que se presenta una clasificación por tamaño de área explotada, en la que se indica la presencia de una cantera de 8.000 m², siendo esta la de mayor explotación; siguiente a esta se encuentra una con 3.532 m² de área explotada, seguida de una de 2.425 m², una cuarta que alcanza los 1.823 m² y, finalmente, dos canteras más pequeñas con áreas de 1.862 m² y 1.075 m², respectivamente.

En cuanto a estas canteras (Ac)⁸¹, la unidad representativa se localiza en el sector El Hornito, en el municipio de La Uvita; se presenta sobre un depósito fluvio-glacial (Qfg), que está discordantemente sobre la formación Areniscas de Socha (Tpars),

⁸¹ Ibídem.

compuesta principalmente por areniscas cuarzosas y sublíticas, de grano medio a grueso, con intercalaciones de lodolitas negras y areniscas finas oscuras, que son materia prima de explotación en el área. Esta unidad geomorfológica consiste en la excavación escarpada, con altura del orden decimétrico, de formas irregulares o en terráneos hechos en laderas para la extracción de materiales de construcción como piedra, arena y grava (ver foto 55. Panorámica de cantera (Ac)).

Foto 55. Panorámica de cantera (Ac).



Fuente: el autor.

CONCLUSIONES

Se realizó la verificación de la información obtenida de la zona de estudio, de la cual se obtuvo información general y específica, como clima, hidrografía, geología en escala 1:100.00, planchas topográficas en escala 1:25.000, entre otros, siendo este un apoyo fundamental para el desarrollo del presente trabajo.

Se consiguió realizar la cartografía morfogenética, morfodinámica e inventario de movimientos en masa, mediante la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano, a través de la implementación de los procesos propuestos, como el mapa de pendientes, variable de rugosidad, variable acuenca, combinación de relieve relativo con inclinación de ladera, unidades de suelo y mapa de procesos obtenido a partir del inventario de movimientos en masa.

Se desarrolló el mapa geológico preliminar a escala 1:25000, para las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, basado en la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano.

Se elaboró el mapa geomorfológico a escala 1:25.000 de las planchas 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, basado en la metodología propuesta por el servicio geológico colombiano, con implementación de las variables morfodinámicas y morfométricas, como insumo fundamental para el desarrollo de este proceso.

RECOMENDACIONES

Como resultado del trabajo realizado, se recomienda:

- a) Generar una metodología más detallada para una mejor elaboración de mapas geomorfológicos, agregando nuevas subunidades al glosario geomorfológico;
- b) Continuar con la elaboración de mapas de susceptibilidad de riesgo a partir del documento y variables obtenidas en el presente trabajo, para la mejor sectorización de zonas de riesgo en pro del apoyo del P.O.T. respectivo a la zona;
- c) Producir bases topográficas actualizadas y detalladas a escala 1:25.000 a 1:10.000 de la zona, para mejores resultados en cuanto a información precisa para estudios posteriores, y
- d) Implementar nuevas tecnologías de bajo costo y software de licencia gratuita para dispositivos móviles, con el fin de mejorar la eficiencia en el desarrollo de la obtención de información en campo, siguiendo la metodología implementada en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- CABALLERO, Víctor; PARRA, Mauricio y BOHÓRQUEZ, Andrés Roberto. Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío – oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca valle medio del Magdalena, 2010.
- FABRE DOMINGUE, Antoine. Geología regional de la Sierra Nevada del Cocuy, plancha 137, “El Cocuy”, 1981.
- - - Geología de la extremidad sur de la Sierra Nevada del Cocuy y los alrededores de La Salina y Sácama, plancha 153, Chita - escala 1:100.000 – memoria explicativa, 1983.
- GEMMA. Movimientos en masa en la región andina, una guía para la evaluación de amenazas, 2007.
- GUTIÉRREZ, Adrian Yesid. Apoyo al componente rural de gestión del riesgo, dentro del mbb-cdm-201412-001 Municipio de Belén, Boyacá – GPS para la revisión y formulación del esquema de ordenamiento territorial, 2015.
- INGEOMINAS. Geología de las planchas 136, Málaga y 152, Soatá, cuadrángulo i-13 – escala 1:100.000 – memoria explicativa, 1976.
- - - Geología de la plancha 172, Paz del Rio – escala 1:100.000 – memoria explicativa, 1982.
- - - Recursos carboníferos área Sátiva-Boavita-San Mateo, proyecto sub 09-24, 2009.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Glosario de subunidades geomorfológicas.
- - - Estándares de cartografía geológica digital para planchas a escala 1:100.000 y mapas departamentales, versión 2, 2012.
- - - Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa, escala 1:100.000, 2013.
- - - Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa, escala 1:100.000, 2009.
- - - Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, 2013.

- - - Socialización de los ambientes denudacional, estructural, fluvial, antrópico, glaciar y periglacial, 2012.

ZINCK, Alfred. Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos, 2009.

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICA Y MORFODINÁMICA PRELIMINAR E
INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ, EN LA ZONA RESPECTIVA A LAS PLANCHAS 153-I-B, 153-I-D,
153-II-A y 153-II-C, A ESCALA 1:25000, EN EL MARCO DEL CONVENIO
INTERADMINISTRATIVO ESPECÍFICO No. 1610-2015, UPTC-GOVERNACIÓN
DE BOYACÁ-CAR

ANEXOS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICA Y MORFODINÁMICA PRELIMINAR E
INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ, EN LA ZONA RESPECTIVA A LAS PLANCHAS 153-I-B, 153-I-D,
153-II-A y 153-II-C, A ESCALA 1:25000, EN EL MARCO DEL CONVENIO
INTERADMINISTRATIVO ESPECÍFICO No. 1610-2015, UPTC-GOVERNACIÓN
DE BOYACÁ-CAR

ANEXO A.

Tabla de estaciones realizadas en campo, con sus respectivas coordenadas

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICA Y MORFODINÁMICA PRELIMINAR E
INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ, EN LA ZONA RESPECTIVA A LAS PLANCHAS 153-I-B, 153-I-D,
153-II-A y 153-II-C, A ESCALA 1:25000, EN EL MARCO DEL CONVENIO
INTERADMINISTRATIVO ESPECÍFICO No. 1610-2015, UPTC-GOBERNACIÓN
DE BOYACÁ-CAR

ANEXO B.

Formatos PMA:GCA desarrollados en la zona de zona de estudio

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICA Y MORFODINÁMICA PRELIMINAR E
INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ, EN LA ZONA RESPECTIVA A LAS PLANCHAS 153-I-B, 153-I-D,
153-II-A y 153-II-C, A ESCALA 1:25000, EN EL MARCO DEL CONVENIO
INTERADMINISTRATIVO ESPECÍFICO No. 1610-2015, UPTC-GOBERNACIÓN
DE BOYACÁ-CAR

ANEXO C.

Columna estratigráfica de la plancha 153, Chita

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

2016 CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICA Y MORFODINÁMICA
PRELIMINAR E INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, EN LA ZONA RESPECTIVA A LAS
PLANCHAS 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, A ESCALA 1:25000, EN EL
MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO ESPECÍFICO No. 1610-
2015, UPTC-GOVERNACIÓN DE BOYACÁ-CAR

ANEXO D

Mapa geológico preliminar, planchas, 153-I-B y 153-II-A

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICA Y MORFODINÁMICA PRELIMINAR E
INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ, EN LA ZONA RESPECTIVA A LAS PLANCHAS 153-I-B, 153-I-D,
153-II-A y 153-II-C, A ESCALA 1:25000, EN EL MARCO DEL CONVENIO
INTERADMINISTRATIVO ESPECÍFICO No. 1610-2015, UPTC-GOVERNACIÓN
DE BOYACÁ-CAR

ANEXO E.

Mapa geológico preliminar, planchas, 153-I-D y 153-II-C

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICA Y MORFODINÁMICA PRELIMINAR E
INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL DEPARTAMENTO DE
BOYACÁ, EN LA ZONA RESPECTIVA A LAS PLANCHAS 153-I-B, 153-I-D,
153-II-A y 153-II-C, A ESCALA 1:25000, EN EL MARCO DEL CONVENIO
INTERADMINISTRATIVO ESPECÍFICO No. 1610-2015, UPTC-GOVERNACIÓN
DE BOYACÁ-CAR

ANEXO F.

Mapa geomorfológico preliminar, planchas 153-I-B y 153-II-A

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016

2016 CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICA Y MORFODINÁMICA
PRELIMINAR E INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA DEL
DEPARTAMENTO DE BOYACÁ, EN LA ZONA RESPECTIVA A LAS
PLANCHAS 153-I-B, 153-I-D, 153-II-A y 153-II-C, A ESCALA 1:25000, EN EL
MARCO DEL CONVENIO INTERADMINISTRATIVO ESPECÍFICO No. 1610-
2015, UPTC-GOBERNACIÓN DE BOYACÁ-CAR

ANEXO G.

Mapa geomorfológico preliminar, planchas 153-I-D y 153-II-C

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBA
SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA
SOGAMOSO
2016